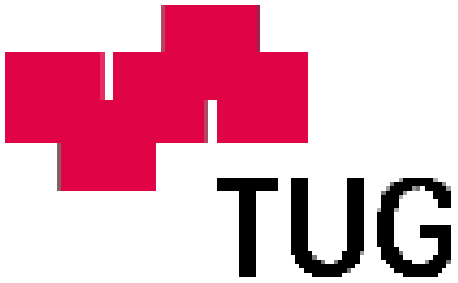
Entwicklung eines Sitzbelegungssensors für die Airbagansteuerung

Diplomarbeit



ausgeführt am:

Institut für Elektronik
der technischen Universität Graz
Vorstand: O. Univ.-Prof. Dr. phil. H. Leopold

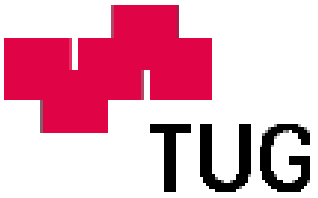
von
Roland SCHALLER
F757-9430024

Betreuer: Dipl.-Ing. Anton Dukart, Robert Bosch GmbH
Begutachter: Dipl.-Ing. Dr.techn., Ass.-Prof. Bernd Eichberger

Graz, im Dezember 2001

TU Graz

Fachbereich: **Elektrotechnik**
Studiengang: **Elektro- und biomedizinische Technik**



Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe, und dabei keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet wurden. Die verwendeten Literaturquellen sind im Literaturverzeichnis vollständig aufgeführt.

Stuttgart, den 30.11.2001

Roland Schaller

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei der Robert Bosch GmbH für die Initiierung dieser Diplomarbeit und der dafür bereitgestellten Räumlichkeiten, Gerätschaft, Materialien und dem guten Essen in der Kantine bedanken.

Mein weiterer Dank gilt im Einzelnen:

Herrn Dipl.-Ing. Anton Dukart, der als Betreuer am Arbeitsplatz mit seiner fachlichen und menschlichen Unterstützung wesentlich zur Entstehung dieser Diplomarbeit beitrug. Darüber hinaus war es auch möglich diverse private Vergnügungen, wie Rad fahren, grillen, etc. mit Ihm zu erleben.

Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn., Ass.-Prof. Bernd Eichberger für die Übernahme der Betreuung seitens der Technischen Universität Graz

Allen Kollegen der Abteilung FV/FLM, die mir bei den anfänglich vielen Fragen immer mit Rat und Tat zur Verfügung standen, besonders:

Herrn Kiefer, für diverse Vorarbeiten vor meinem Eintritt bei Robert Bosch GmbH und seinem unfangreichen Wissen

Herrn Walz, der mir mit viel Erfahrung bei der Planung, dem Entwurf und Konstruktionen der Prototypen zur Seite stand, und sie dann mit ungeheurem Geschick und Präzision umsetzte.

Herrn Wolf, aus der Abteilung FV/FLP der immer wieder neue Anregungen in die Entwicklung mit einfließen lies, und bei vielen internen organisatorischen Tätigkeiten weiterhalf.

Und den lieben anderen Kollegen wie, Herrn Bollweber, Gerlach, Zabler, Frau Rosenberger die wesentlich zum angenehmen Arbeitsklima in der Abteilung beitrugen.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG 7

1.1. Systemgrundlagen der Gewichtserkennung im Zusammenhang mit der Airbagauslösung 7

1.2. Lösungsvorschläge zur Gefahrenreduktion bei Airbagentfaltung 8

1.3. Einführung in die Gewichtssensierung 12
1.3.1. Historie der Kraftmessbolzen 15
1.3.2. Einbaubedingungen 16
1.3.3. Verwendete Testmethoden 17
1.3.4. Pflichtenheft des Kraftmessbolzens 18

2. GRUNDLAGEN DER KRAFTMESSTECHNIK 19

2.1. Einleitung 19

2.2. Funktionsweise des Hallsensors 20
2.2.1. Verwendete Hallsensoren 21

2.3. Funktionsweise des Dehnungsmessstreifen (DMS) 24
2.3.1. Anwendung 24
2.3.2. Wheatstone´sche Brückenschaltung 25
2.3.3. Temperaturkompensation 27
2.3.4. Verwendete DMS-Sensor 28

2.4. Weiterverarbeitung der KMB-Signale 29
2.4.1. Allgemeines 29
2.4.2. Komponenten des Insassensicherheitssystems 30
2.4.3. Aufbau eines kombinierten Steuergerätes 31
2.4.4. Datenverarbeitung 32
2.4.5. Datenübertragung zu anderen Systemen 33

3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN 36

3.1. Krafteinleitung und Lage des Kraftmessbolzens im System 36
3.1.1. Reproduzierbarkeit – Abnahme der Empfindlichkeit 36
3.1.2. Messaufbau 39
3.1.3. Verwendete Messgeräte, Einrichtungen 40
3.1.4. Diverse Einstellungen an den Messgeräten 41

3.2. Einflusses der Sitzkonstruktion auf den KMB 44
3.2.1. Einfluss der Sitzhöhenverstellung 44
3.2.2. Einfluss der Haftreibung auf den KMB 45
3.2.3. Messaufbau 46
3.2.4. Messgeräte, Einrichtungen 46
3.2.5. MAX Measurement and Automation Tool 47

3.3. Dynamische Messungen 49
3.3.1. Versuchsbeschreibung 49
3.3.2. Messaufbau 49

4. MESSERGEBNISSE 50

4.1. KMB der Version 1.0 50

4.2. Der Kraftmessbolzen Version 2.0 51
4.2.1. Reproduzierbarkeit 52
4.2.2. Abnahme der Empfindlichkeit 55
4.2.3. Einfluss der Sitzhöhenverstellung 58
4.2.4. Untersuchung der vermuteten Haftreibungseinflüsse 64
4.2.5. Dynamische Messungen 65

4.3. KMB der Version 3.0 68

4.4. Ringbolzen Version 4.0 69
4.4.1. Reproduzierbarkeit 70
4.4.2. Ansprechen des Überlastschutzes 71
4.4.3. Abnahme der Empfindlichkeit 72

4.5. Topfbolzen Version 5.0 74
4.5.1. Reproduzierbarkeit 75
4.5.2. Ansprechen des Überlastschutzes 77
4.5.3. Abnahme der Empfindlichkeit 78
4.5.4. Einfluss der Sitzhöhenverstellung 80

5. DER DEMONSTRATOR 84

5.1. Sitzdemonstrator 84

5.2. Demonstrator des Messprinzips 85
5.2.1. Das Messelement 85
5.2.2. Der Demonstrator 86

6. ERGEBNIS UND AUSBLICK: 88

7. VERWENDETET PHYSIKALISCHE SYMBOLE 92

8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS 93

9. QUELLENVERZEICHNIS 95

10. LITERATURVERZEICHNIS 96

11. ANHANG 97

11.1. Pflichtenheft 97

11.2. Hardware 101

11.3. Software 103

11.4. Auszüge aus den Datenblättern 109

11.5. Konstruktionszeichnungen der einzelnen Prototypen 117

11.5. Konstruktionszeichnungen der einzelnen Prototypen 118

1. Einleitung

Die Abteilung FV/FLM der Robert Bosch GmbH, die zur Forschung und Vorausentwicklung gehört, beschäftigt sich unter anderem mit Sensorentwicklung, Fertigungs- und Qualitätsmesstechnik. Im Rahmen dieses Beschäftigungsfeldes werden immer neue messtechnische Aufgabenstellungen aus den verschiedenen Fertigungsbereichen an die Abteilung herangetragen. Eine typische Aufgabe aus dem Bereich der Vorausentwicklung ist die Gewichtserkennung.

1.1. Systemgrundlagen der Gewichtserkennung im Zusammenhang mit der Airbagauslösung

Das Airbagsystem, ursprünglich gedacht um Leben zu retten, ist nun seit mehr als zwanzig Jahren im Einsatz. Nicht unbeträchtlich ist die Zahl der Fälle, in denen der sogenannte Lebensretter genau das Gegenteil dessen macht, für was er eigentlich konzipiert wurde. Laut internen Mitteilungen von Daimler-Chrysler kamen bis November 1999 auf 6377 durch den Airbag geschützte KFZ Insassen, 98 Kinder und 7 Erwachsene auf der Beifahrerseite und 63 Erwachsene auf der Fahrerseite, die getötet wurden. Den meisten Autofahrern und Passagieren ist das hohe Gefahrenpotential, das von diesen Schutzeinrichtungen ausgeht, nicht bewusst. In den Werbefilmen der Kraftfahrzeughersteller wird das Auslösen der Airbags immer in extremer Zeitlupe dargestellt. Diese verzerrte Darstellung lässt den Trugschluss zu, dass sich die Luftkissen langsam wie Schmusekissen entfalten. Man denke an eine Werbung, in der sich ein weiblicher Dummy im Bikini auf sechs Airbags sonnt. Tatsächlich werden diese Prallsäcke aber in 20 bis 30 Millisekunden mit ungeheuerlicher Wucht und ohrenbetäubendem Lärm aufgeblasen, um ihre volle Schutzwirkung zu entfalten. Dies führt dazu, dass die zu schützende Person in einem Bereich näher als 10 Zentimeter vom Öffnungsdeckel entfernt in absoluter Lebensgefahr schwebt. Ein Beifahrer, der seine Füße auf das Armaturenbrett legt, seinen Kopf vorbeugt, um seine Schuhe zu zubinden, oder im Handschuhfach etwas sucht, läuft Gefahr, schwer in Mitleidenschaft gezogen bzw. sogar durch den Lebensretter getötet zu werden. Es drohen Verletzungen wie Prellungen, Platzwunden, oder Tod durch Genickbruch. Die eben erläuterten, gefährlichen Sitzpositionen werden im Englischen unter dem Begriff „**Out Of Position**“ zusammengefasst und untersucht. Dieser Bereich, in dem eine Schutzeinrichtung den Airbag der Situation angepasst auslöst soll, und im Englischen mit Keep Out Zone (KOZ) bezeichnet wird, ist in **Bild 1** dargestellt.

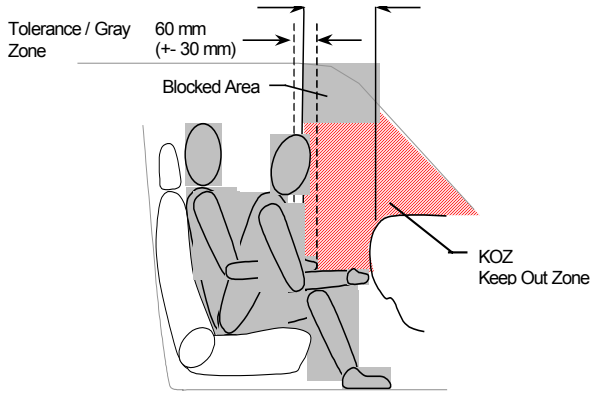


Bild 1: Position des Fahrzeuginsassen

Der Fahrerairbag verhindert, dass sich der Lenker des Kraftfahrzeugs durch das Lenkrad schwere Verletzungen zuzieht, auch wenn er seinen Sicherheitsgurt vorschriftsmäßig verwendet. Eine große Gefahr geht vor allem vom Beifahrerairbag aus, da dieser ein enormes Volumen von 130 Litern aufbaut, mehr als doppelt so viel wie ein Fahrerairbag, und deshalb beim Entfalten eine enorme zerstörende Kraft entwickeln kann. Der Beifahrerairbag ist dazu gedacht, einer Überdehnung der Nackenmuskulatur entgegenzuwirken. Von diesen Gesichtspunkten ausgehend lässt sich ableiten, dass Beifahrerairbags für Kleinstwagen wie Smart oder VW Lupo sinnvoll sind, da es dort aufgrund verringerter Knautschzonen zu einer Erhöhung der Verzögerungskräfte und somit zu einer erhöhten Beanspruchung des Nackens kommen kann. Ein weiteres Problem, das im Zusammenhang mit Airbags auftritt, sind die nach einem selbstverschuldeten Unfall oft enormen Instandsetzungskosten bei nicht belegten Sitzen. In einem modernen KFZ sind bis zu 10 Airbags, wie Fahrer-, Beifahrer, Seitenairbags in Brust und Kopfhöhe und Knieairbags eingebaut. Ein Auslösen aller Airbags in einem modernen Kraftfahrzeug kann Kosten an die 5.000 Euro verursachen, obwohl die schützenswerten Personen vielleicht nicht mal alle an Bord waren. Durch unnötiges Auslösen entstehen in Deutschland jedes Jahr Kosten in Höhe von einigen Millionen Euro, was den Versicherungen natürlich missfällt. Deshalb werden moderne Kraftfahrzeuge auch mit Systemen ausgestattet, die eine Feststellung der Belegung der Sitze erlauben und Airbags auf nicht besetzten Sitzen nicht auslösen.

1.2. Lösungsvorschläge zur Gefahrenreduktion bei Airbagentfaltung

Um Verletzungen durch Airbags zu verhindern, sind alle Autozulieferer zu verbessernden konstruktiven Maßnahmen aufgerufen. Ein möglicher Fortschritt wäre beispielsweise die Informationen aus den Gurtschlössern heranzuziehen, um bei etwaigen nicht angeschnallten Personen nur mit halber Kraft auszulösen. Aber auch schon sehr einfache Vorkehrungen wie die Faltung des Airbags haben Einfluss auf den von ihm ausgehenden Gefährdungsgrad. Bei der normalen Konstruktion liegen die einzelnen Lagen des Airbags übereinander wie bei einer Ziehharmonika. Bei einer ausgelösten Zündung wird zunächst das ganze Paket in Richtung Innenraum geschleudert, bevor es sich dort mit enormer Gewalt aufbläst. Es ist wesentlich besser, die Hülle in Lagen nebeneinander zu falten. Ein weiteres Problem ist das nötige Durchstoßen des Armaturenträgers oder der Abdeckplatte. Da momentan Deckel ohne sichtbarer Nut von den Designern gefordert werden, ergeben sich dadurch Probleme. So braucht der Airbag eine wesentlich höhere Kraft um diese Klappen öffnen zu können, und es kann auch zur Ausbildung von scharfen Bruchkanten kommen, die ihrerseits wieder eine erneute Gefahr für den Passagier darstellen. Ein weiterer Lösungsansatz ist ein zwei- oder mehrstufiges Zündsystem, bei der die erste Explosion wesentlich schwächer ist als eine gesamte Entladung der Gaspatrone bei einstufiger Auslösung. Je nachdem, ob der Airbag kollidiert, werden die weiteren Stufen ausgelöst oder nicht.

Über zwei Jahrzehnte nach Einführung der ersten Airbags beginnt man jetzt, die Probleme, die bei deren Entfaltung verursacht werden, ernst zu nehmen und zu beheben. Mehr vom Marketing als von sicherheitstechnischer Notwendigkeit motiviert, wurde in den letzten Jahren die Entwicklung der Kopf-, Tür-, Fenster- und Sitzlehnenairbags vorangetrieben. Vor allem den Auswirkungen der negativen Effekte müssen sich die Autohersteller, Zulieferer und Entwickler stellen. Als erstes Land der Welt wird in den USA der Schutz von Airbagfehlauslösungen in der

sogenannten **FMVSS 208** vorgeschrieben. In diesem Gesetz sind Testkonstellationen festgeschrieben, die Prüfverfahren vorgeben, bei denen die Kraftfahrzeuge im Gegensatz zu normalen Crashtests still stehen. Innen werden zur Prüfung Dummies verwendet und gängige Typen von Kindersitzen. Berücksichtigung finden bei diesen Test erstmals die Gruppe von Kindern bis zu einem, drei und sechs Jahren und die sogenannte **Fünf-Prozent-Frau**, welche einer 46,7 bis 51,3 kg schweren und bis zu 150 cm großen Person entspricht. Wie aus dem Diagramm herauszulesen ist, sollen die einzelnen Gruppen durch den Sensor voneinander selektiert werden. Es gibt zwei Zustände für den Airbag: Aus (Supressed) und Ein (Enable). Dazwischen gibt es die sogenannte Grauzone (Gray Zone), die durch das zusätzliche Gewicht des elektrisch verstellbaren Sitzes, Messfehler und den Kraftnebenschluss über den Boden durch die Beine auf 12% eingeschränkt wird. Natürlich wäre die Personenerkennung prinzipiell auch über die Körpergröße möglich, doch gestaltet sich dieser Lösungsansatz, wie im Weiteren beschrieben, und auf Grund der geringen Grauzone von nur 4%, als schwierig realisierbar.

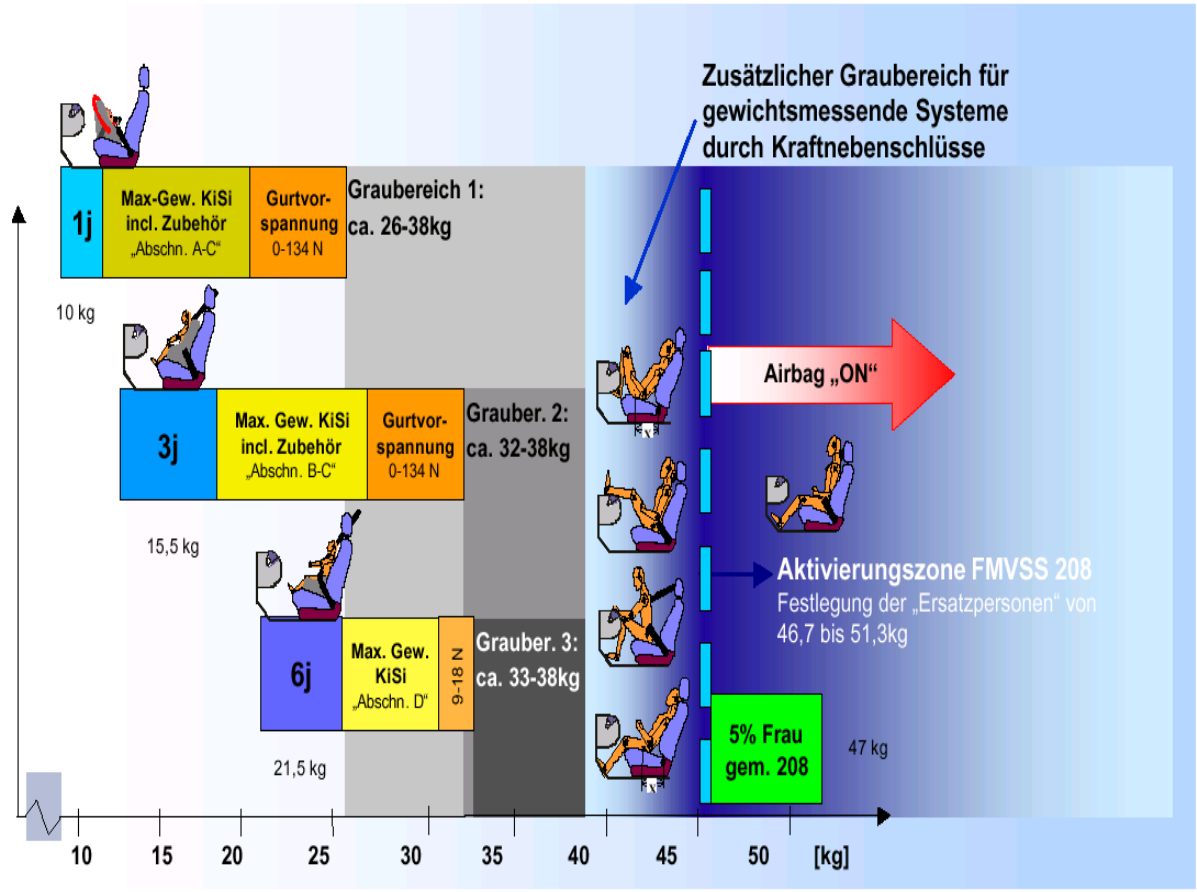


Bild 2: Insassensensierung: Spezifikation des Alters, Größe und Gewichts

5% der Fahrerinnen sitzen relativ nahe am Steuer und manche sogar im gefährlichen Anschlussbereich, müssen also durch ein Sicherheitssystem geschützt werden. In die Überlegungen für die Konzipierung dieses Systems, sollen auch die Fälle von **Miss Use** und **Out Of Position** einfließen, bei denen es zu keinem oder zu sanftem Auslösen des Airbags kommen soll. **Low Risk Deployment** heißt das Schlüsselwort für die sanfte Aktivierung. Diese erlaubt im Gegensatz zu einer konventionellen Airbagauslösung eine größere Grauzone. Aus dem Englischen direkt übersetzt, bedeutet das, „Auslösen mit niedrigem Risiko". Realisiert ist dies vor allem durch

mehrstufig auslösende Airbagsysteme. Eine weitere Maßnahme die Gefährdung für die Fahrzeuginsassen zu minimieren, bietet die optische bzw. Ultraschallüberwachung der Fahrgastzelle in **Bild 3**.

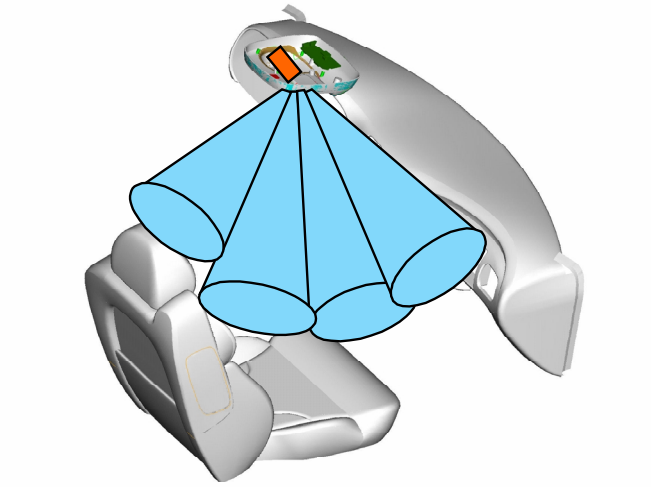


Bild 3: Innenraumüberwachung mit optischen Methoden

Erprobt werden Kamerasysteme, welche die Sitzposition des Insassen ständig überwachen. Allerdings kämpfen die diversen Entwickler noch mit gravierenden Problemen. Man muss sich sicher sein, wer auf dem Sitz Platz genommen hat, bevor man den Airbag zündet oder nicht. Bislang ist man nicht in der Lage, zu erkennen, ob der Beifahrer zu weit nach vorne gebeugt ist oder einen Gegenstand in der Hand hält, den zu beschädigen es völlig ungefährlich wäre. Deshalb ist man dazu übergegangen, den Fahrgast über sein Körpergewicht zu erkennen. Dies kann mittels unterschiedlicher Methoden erfolgen wie Blase, Sitzmatte, Biegefeder und Kraftmessbolzen (KMB). Natürlich bieten die einzelnen in Entwicklung bzw. Erprobung befindlichen Systeme diverse Vor- und Nachteile.

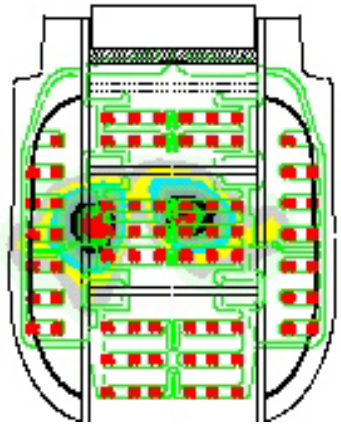
Blase – Bladder

Die Blase hat den Vorteil, dass sie auf einem sehr einfachen Prinzip beruht und das Potential hat relativ preisgünstig realisiert zu werden. Die Konstruktion beinhaltet einen mit Gel befüllten Beutel, der in der Sitzfläche untergebracht ist. Setzt sich der Fahrgast nun auf diese, so steigt der Druck im Inneren entsprechend dem Körpergewicht an. Dieser Druckanstieg kann gemessen werden. Die Nachteile dieses System sind mangelnde Langzeitstabilität und große Grauzone, die durch einen zusätzlichen Druckanstieg bei Temperaturschwankungen entstehen. Noch nicht gelöst ist das Problem die Hülle dauerhaft dicht zu schließen, um ein Austreten des Silikongels aus der Blase zu verhindern. Weiter ist ein Zurücklehnen des Fahrgastes nur schwer zu erkennen und ein zusätzlicher Gurtkraftmesser erforderlich, weil durch den Gurt eine zusätzliche Kraft wirkt. Da sich die

Messelemente in der Sitzfläche befinden, ist es nicht möglich, ein Zurücklehnen, und damit die Veränderung des Gewichts der zu schützenden Person, zu erkennen.

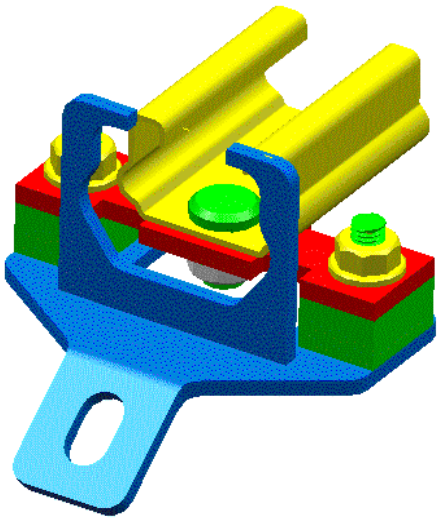
Insassenmatte - Occupant Mat

Nicht viel besser schneidet die Insassenmatte ab. Zwar besitzt man bei dieser Anwendung jahrelange Erfahrung in der Verwendung und Positionierung der druckabhängigen Widerstandselemente in der Sitzfläche, doch kämpft man weiterhin mit den ähnlichen Problemen wie bei der Bladder. Man kommt ebenfalls um einen zusätzlichen Gurtkraftsensor nicht herum, kämpft mit Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit und Temperatur und hat die Langlebigkeit noch nicht wirklich im Griff. Ein Nachteil gegenüber dem KMB ist darin zu sehen, dass der Anschaffungspreis des Systems wesentlich höher liegt. Wiederum ist es bei diesem System nicht möglich, ein Zurücklehnen zu erkennen, da ein Teil des Insassengewichts über die Rückenlehne „bygepasst“ wird.

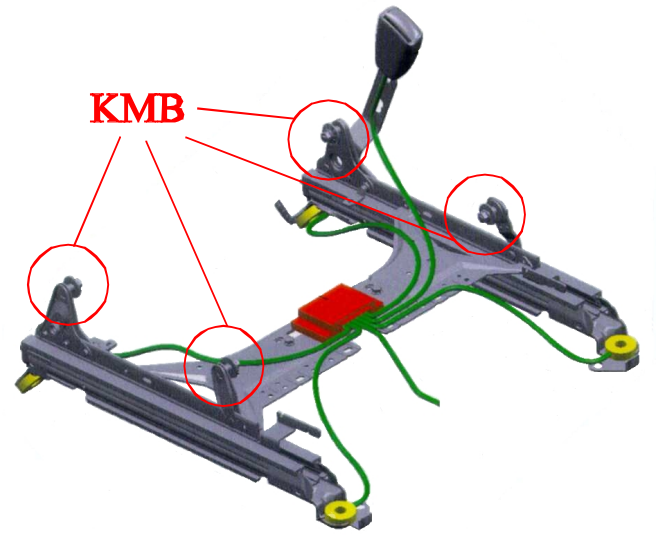


Biegefeder

Ein direkter Konkurrent zu den vorangegangenen Systemen ist das seit Jahren erprobte und in anderen Formen auf dem Markt befindliche System der Biegefeder. Hier wird durch das Gewicht der zu schützenden Person eine Metallfeder gedehnt, und diese Verbiegung mittels Dehnmessstreifen (DMS) erfasst. Probleme ergeben sich hier durch die Erhöhung der gegenwärtigen Sitzkonstruktion, was von den Fahrzeugherstellern in keiner Weise erwünscht ist, und zusätzlich durch den mangelnden Überlastschutz im Crashfall, da sich die rot hervorgehobene Feder nach oben irreversibel verbiegen würde. Dies hätte zur Folge, dass nach einem Crashfall keine zuverlässige Messung mehr gegeben wäre. Das ist ein Nachteil, der bei der erstgenannten Anwendungen unbekannt ist. Es macht keinen Sinn, die Kosten für den Austausch des Insassenschutzes zu sparen und dann mit enormen Aufwand die defekten Sensoren zu ersetzen. Weiter befürchtet man aufgrund der ungünstigen Position des Sensors an der Unterseite der Sitzschienen eine Beschädigung dieses schon vor dem Einbau ins Kraftfahrzeug und eine Funktionsbeeinträchtigung während des Betriebes durch Verschmutzung. Ein sehr wesentlicher Nachteil dieses Systems ist die resultierende Erhöhung des H-Punktes (Hüftpunkt). Daraus resultiert eine von den Fahrzeugherstellern unerwünschte Verminderung der Kopffreiheit.



1.3. Einführung in die Gewichtssensierung



Als im Moment vernünftigste Form, den lebensrettenden Airbag situationsrichtig auszulösen, erscheint der **Kraftmessbolzen**. Dieser wird in die bestehende Sitzkonstruktion exakt an der Stelle eingebracht, an der normalerweise eine Schraube sitzt, welche die zur Höhenverstellung dienenden Schenkel verbindet. Auch bei Sitzkonstruktionen ohne Sitzhöhenverstellung kann der KMB zum Einsatz kommen, da in fast allen gängigen Konstruktionen der Sitzaufbau mittels Schrauben mit der Schienenkonstruktion verbunden wird, und somit eine korrekte Krafteinleitung erfolgen kann. Daraus ergeben sich natürlich enorme Vorzüge gegenüber den anderen Systemen. Es kommt zu keiner unerwünschten Anhebung des H-Punkts. Folglich muss die vorhandene Sitzkonstruktion gar nicht bzw. nur leicht verändert werden. Dies ist ein enormer Bonus, da eine Modifikation des bestehenden Aufbaus immer eine Abänderung der Produktionsstraße des Sitzlieferanten und eventuell der Bodengruppe des Fahrzeuges nach sich zieht und somit zusätzliche Kosten verursacht. Einen sehr wichtigen Aspekt, den der Kraftmessbolzens auch erfüllt, ist, dass es zu keiner optischen Beeinflussung des Gesamtsystems kommt. Darüber hinaus sind die Autohersteller auch deshalb an einer in das bestehende System leicht zu integrierenden Lösung interessiert, weil die Vorarbeiten für die Produktion der dann auf den Markt kommenden Kraftfahrzeuge bereits voll am Laufen ist und ein Eingreifen in die bestehenden Planungsvorgänge sich als schwierig gestaltet. In Bezug auf die Art der Sitzhöhenverstellung, die mittlerweile in Autos der gehobenen Mittel- und Oberklasse elektrisch vollführt wird, ergibt sich zu gewöhnlicher Verstellung mit Hand kein gravierendes Manko. Der Sensor befindet sich auch an einer relativ geschützten Stelle im unteren Bereich des Sitzes. Die Anbindung des Gurtes an den Sitz erfolgt im gegenwärtigen Moment mit einer Schraube. Daraus resultiert eine weitere Stärke dieser Kraftmessmethode, die darin liegt, dass die Gurtkraftsensierung ebenfalls mittels eines KMB durchgeführt werden kann. Es kommen bei den hier vorliegenden Untersuchungen zwei Verfahren zum Einsatz, mit Hilfe derer das Gewicht bestimmt werden kann. Diese sind der Einsatz von Dehnungsmessstreifen (DMS) oder Hallsensoren, deren Funktionsweisen im Weiteren noch näher ausgeführt werden. Der Sensor liefert permanent eine analoge Ausgangsspannung, die kontinuierlich von der Auswerteelektronik aufbereitet wird. Das Gewicht des Passagiers wird kontinuierlich ermittelt. Ein weiterer Vorzug ist, dass durch geeignete konstruktive Maßnahmen eine bidirektionale Messung möglicht ist. Diese Konstruktion ergab sich erst im Laufe der Diplomarbeit, da zuerst einige unidirektionale Versionen erprobt wurden. Während der engen Zusammenarbeit mit den interessierten Firmen kristallisierte sich die Forderung nach einem bidirektionalem KMB heraus. Bidirektionale Kraftmessung bedeutet, dass der Sensor in der Lage ist sowohl Druck- als auch Zugbelastung zu messen. Dies ist deshalb wichtig, weil, entsprechend der Sitzposition des Fahrgastes, beide Belastungsfälle

auftreten können. Bei normalem Sitzen werden die vier auf den Bolzen wirkende Kräfte in die Richtung der Gewichtskraft zeigen. Es muss aber auch der Fall berücksichtigt werden, dass sich der Insasse stark nach hinten lehnt und sich zusätzlich mit den Füssen abstützt. Siehe dazu den zweiten Fall in der nachfolgenden Abbildung. Dabei kommt es vorne zu einem Entlasten und hinten zu einem stärkeren Belasten des Sitzes. In diesem Fall kann es vorkommen, dass die Kräfte im vorderen Bereich des Sitzes in die Gegenrichtung zu denen im hinteren gerichtet sind und daher bei der Summenbildung negativ berücksichtigt werden müssen. Um diesen Fall zu beherrschen, muss der Sensor in der Lage sein, Druck und Zug unterscheiden zu können. Bei unidirektionalen Bolzen, wo nur die Betragsanteile der Kräfte addiert werden können, erhöht sich die Summe, und damit der Messfehler, um den doppelten Anteil der negativen Kräfte. Die richtige Ermittelung des Gewichts ist besonders wichtig im Zusammenhang mit Kindern und der sogenannten 5%-Frau. Ohne bidirektionale Messung würde in Fällen, wie in **Bild 4** gezeigt, ein zu hohes Gewicht ermittelt werden. Überschreitet das Gewicht die Schwelle für Low Risk Deployment, so werden die Insassen fälschlicher Weise als normale Erwachsene sensiert. Dies bedeutet ein normales Auslösen des Airbags und somit ein erhöhtes Risiko für diese Gruppe der Fahrzeuginsassen. Die Sitzkonstruktion ist in zwei verschiedenen Positionen mit den auftretenden Kräften im folgenden Bild dargestellt. Dies soll die Notwendigkeit der bidirektionalen Messung noch einmal erklären.

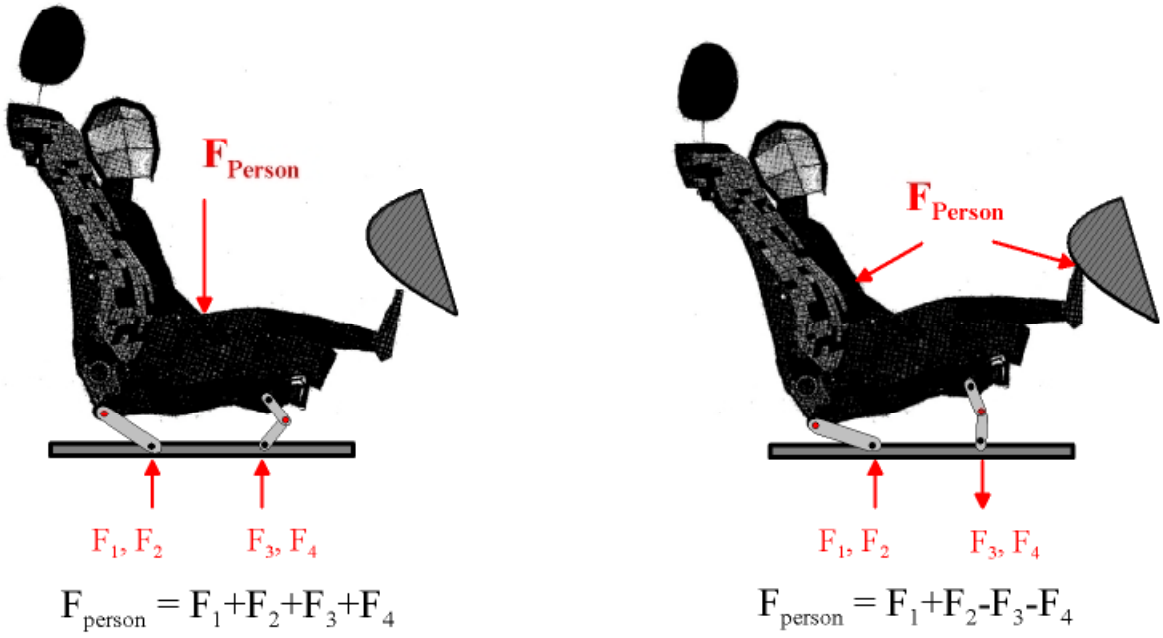


Bild 4: Summenbildung des Gewichts

Natürlich ist diese Methode nicht frei von Fehlerquellen. Die Herausforderung hier liegt in der richtigen Interpretation der transienten Vorgänge und in der Verhinderung des mechanischen Nebenschlusses zwischen den sich berührenden metallischen Teilen. Der Fall des Überlastschutzes kann konstruktionstechnisch gelöst werden.

Noch einmal die **Vorteile des KMB** kurz zusammengefasst:

- Kleinbauendes, statisches Messprinzip.
- Universell durch den Querschnittsdurchmesser und Ringgeometrie an verschiedene Messbereiche anpassbar.
- Universell für Messung der Verbindungskräfte zwischen zwei Teilen verwendbar.
- Das weg- und somit kraftproportionale Magnetfeld kann berührungslos (im Luftspalt) abgegriffen werden.
- Eine gute Nullpunktstabilität des Kraftmessbolzen ist durch den abstandmessenden, sich im magnetischen Nullpunkt befindenden Hallsensors gegeben.
- Eine starke Flussdichteänderung wird bereits durch eine geringe Auslenkung erzeugt.
- Magnetfeldsensor mit Auswerteelektronik sind voll integrierbar, wodurch eine einfache Zuleitung und kompakte Bauweise, sowie eine äußerst kostengünstige Lösung möglich wird.
- Zug- und Druckkräfte sind messbar (bidirektionale Messung).
- Bei Bestückung mit einem vollintegriertem Hallsensor besteht die Diagnosemöglichkeit für die Grundfunktionen des Hallelements und die Magnetanwesenheit.
- Keine Hüftpunkterhöhung und damit verbunden keine Einbuße der Kopffreiheit.
- Keine Sitzmodifikationen nötig.

1.3.1. Historie der Kraftmessbolzen

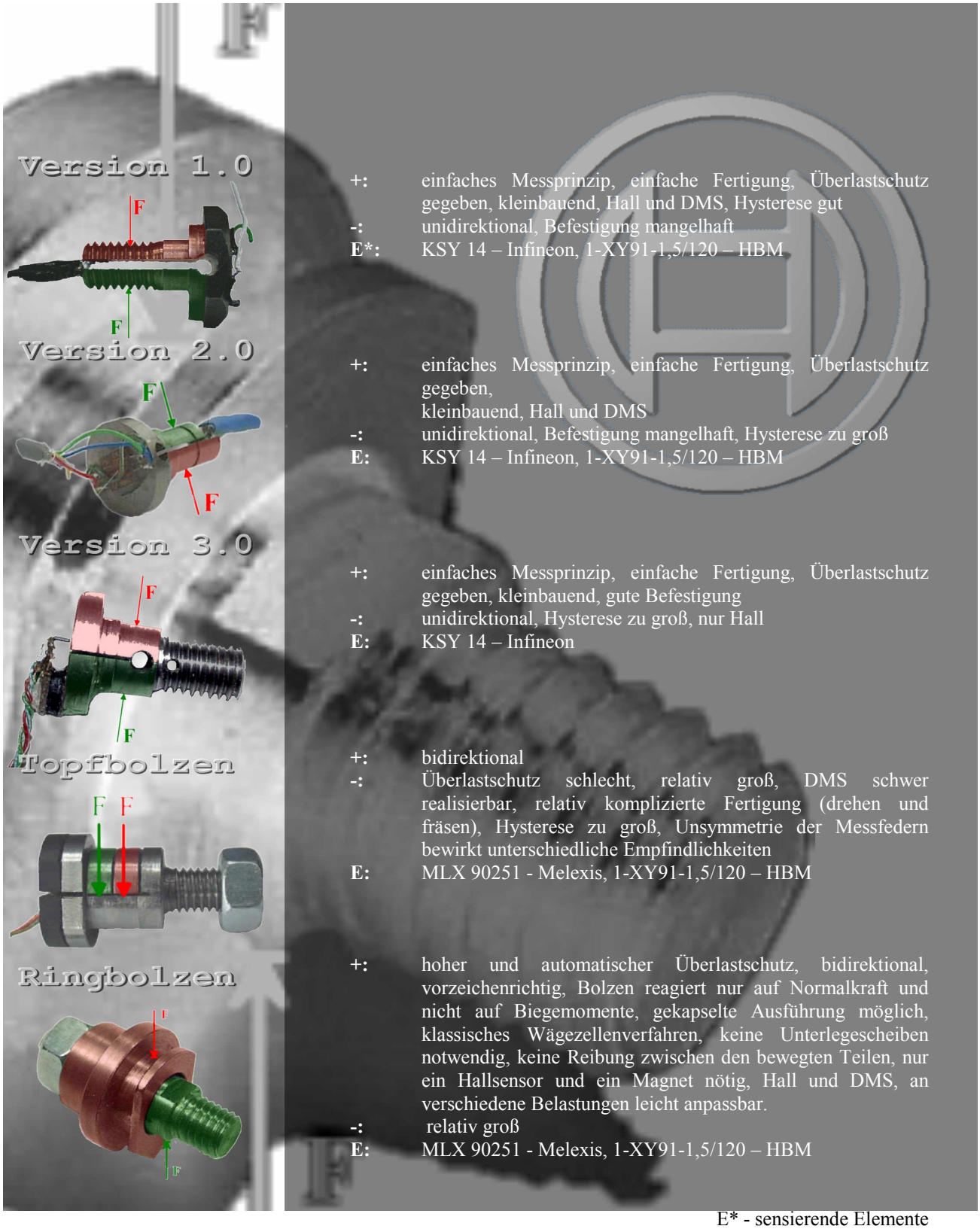

Version 1.0
F
F
+: einfaches Messprinzip, einfache Fertigung, Überlastschutz gegeben, kleinbauend, Hall und DMS, Hysterese gut
-: unidirektional, Befestigung mangelhaft
E*: KSY 14 – Infineon, 1-XY91-1,5/120 – HBM
Version 2.0
F
F
+: einfaches Messprinzip, einfache Fertigung, Überlastschutz gegeben,
kleinbauend, Hall und DMS
-: unidirektional, Befestigung mangelhaft, Hysterese zu groß
E: KSY 14 – Infineon, 1-XY91-1,5/120 – HBM
Version 3.0
F
F
+: einfaches Messprinzip, einfache Fertigung, Überlastschutz gegeben, kleinbauend, gute Befestigung
-: unidirektional, Hysterese zu groß, nur Hall
E: KSY 14 – Infineon
Topfbolzen
F F
+: bidirektional
-: Überlastschutz schlecht, relativ groß, DMS schwer realisierbar, relativ komplizierte Fertigung (drehen und fräsen), Hysterese zu groß, Unsymmetrie der Messfedern bewirkt unterschiedliche Empfindlichkeiten
E: MLX 90251 - Melexis, 1-XY91-1,5/120 – HBM
Ringbolzen
F
F
+: hoher und automatischer Überlastschutz, bidirektional, vorzeichenrichtig, Bolzen reagiert nur auf Normalkraft und nicht auf Biegemomente, gekapselte Ausführung möglich, klassisches Wägezellenverfahren, keine Unterlegescheiben notwendig, keine Reibung zwischen den bewegten Teilen, nur ein Hallsensor und ein Magnet nötig, Hall und DMS, an verschiedene Belastungen leicht anpassbar.
-: relativ groß
E: MLX 90251 - Melexis, 1-XY91-1,5/120 – HBM
E* - sensierende Elemente

Bild 5: Darstellung der verschiedenen Versionen des KMB

Aufgrund der erläuterten Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme hat man sich bei der Firma Robert Bosch GmbH dazu entschieden, die Entwicklung des Kraftmessbolzens mit all seine Stärken und Schattenseiten weiter voranzutreiben. Die enge Zusammenarbeit mit einem Sitzhersteller ist essentiell, da nur dann eine sinnvolle, akzeptabel Lösung mit den notwendigen Sitzmodifikationen durchgeführt werden kann. Der Zielkunde gibt die Spezifikations- und Prüfbedingungen vor.

1.3.2. Einbaubedingungen

Der im vorangegangen kurz erwähnten Einbauplatz des Sensors soll in den folgenden zwei Bildern noch einmal herausgearbeitet werden. Zu sehen ist der Fußboden der Fahrgastzelle samt Sitzschiene, Verstellhebel für die Längsverstellung des Sitzes, Fußraumteppich und die Unterseite des Sitzkissens. In der Frontansicht sind deutlich die zwei Schenkel zu erkennen die der Sitzhöhenverstellung dienen. Das sind zwei Blechpressteile, wobei der untere an der Sitzschiene fixiert ist und der obere drehbar gelagert ist. Verbunden sind die zwei Teile mit einer Schraube. Werden diese zueinander verdreht, so ändert sich ihr Winkel zueinander und daraus resultierend die Höhe des Sitzes. Die in den nachstehenden Bildern dargestellte Schraube wurde entfernt und durch den Kraftmessbolzen ersetzt. Abgebildet ist der Einbauplatz vorne, rechts.

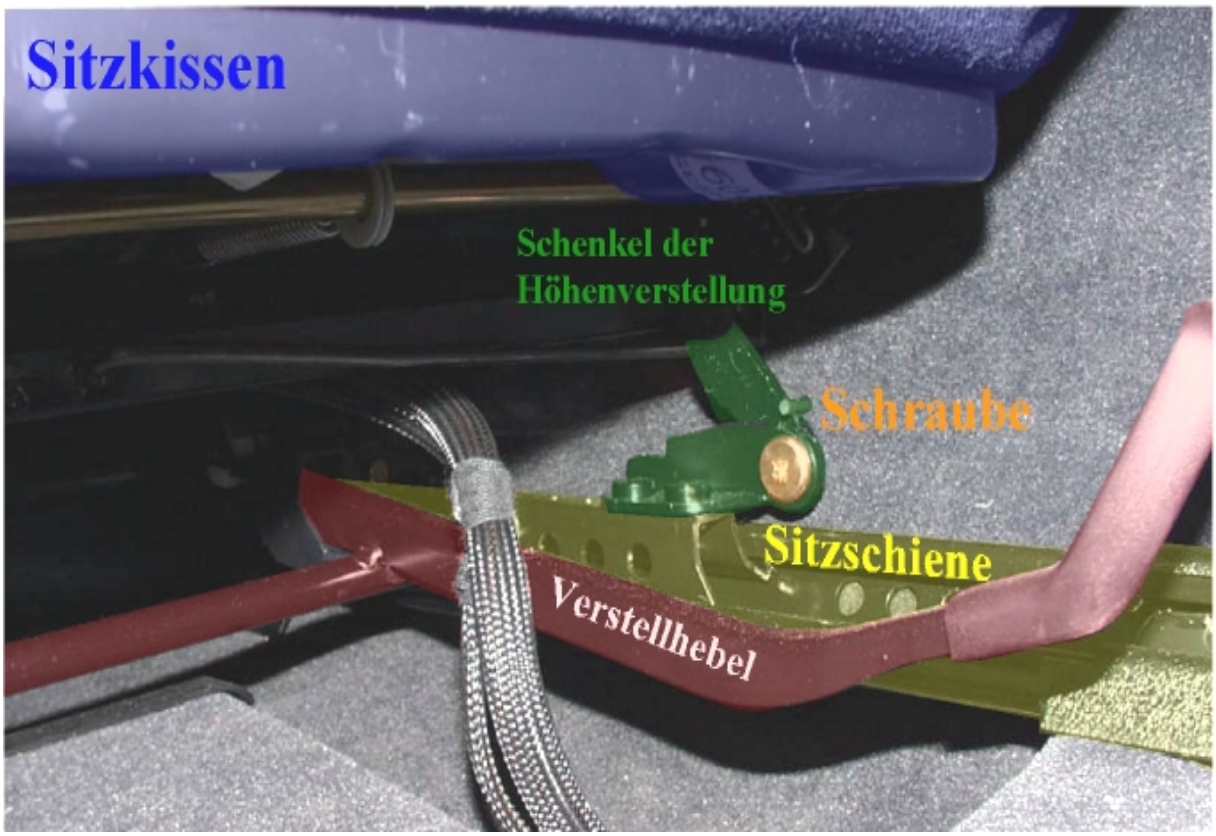


Bild 6: Einbauplatz des KMB Frontansicht

Im nachstehenden Bild ist der Bolzeneinbauplatz hinten rechts dargestellt. Es sind wieder der Einbauplatz der ursprünglichen Schraube, die Sitzschiene und der Verstellmotor erkennbar. Letzterer verdreht die abgebildete Stange und nimmt damit über den auf der rechten Seite angeschweißten Hebel Einfluss auf die Höhenverstellung des Sitzes.

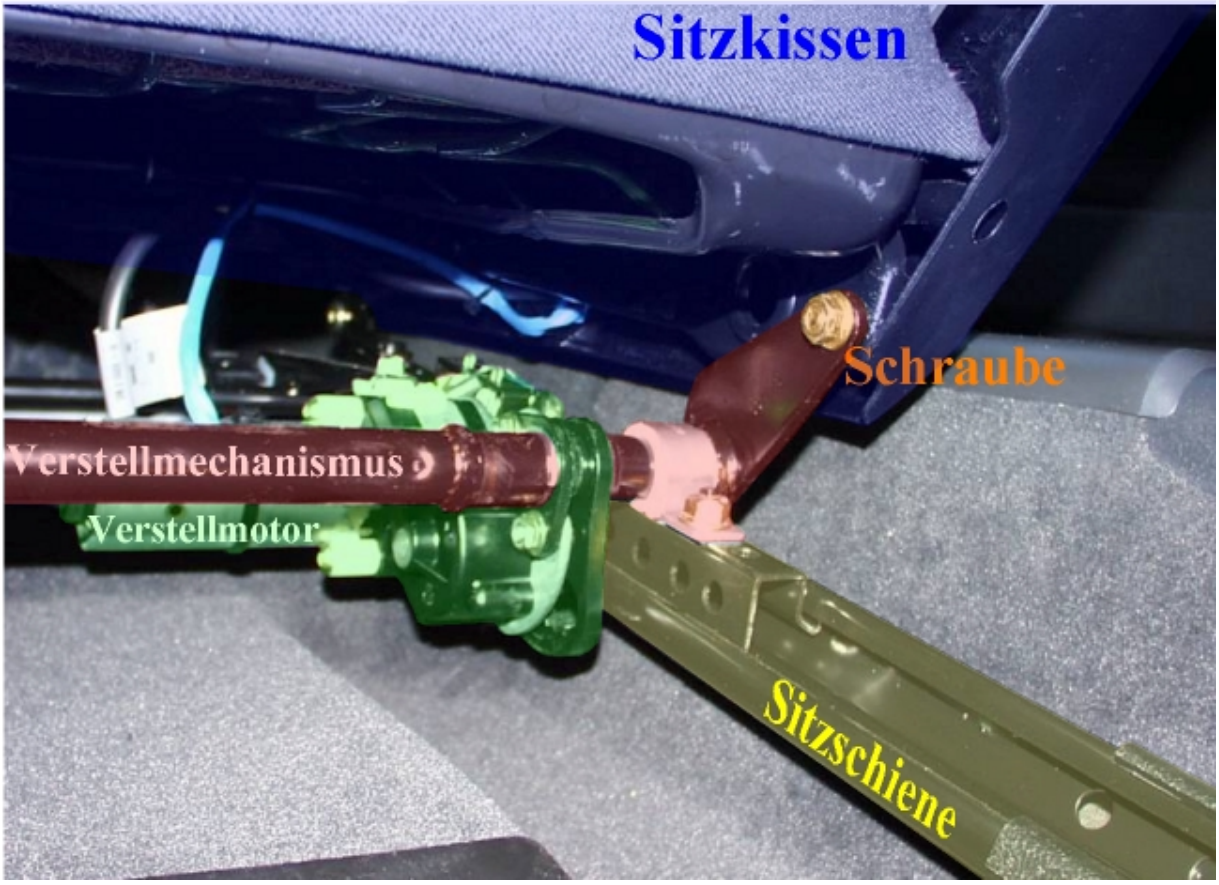


Bild 7: Einbauplatz des KMB in Rückansicht

1.3.3. Verwendete Testmethoden

Bei der Untersuchung der einzelnen Sensoren wurden verschiedene Arten der Prüfung durchgeführt, auf die später in den einzelnen Kapitel näher eingegangen werden soll.
Bestandteile der Prüfung umfassten die **statischen Tests**. Bei diesen wurde der Zusammenhang zwischen Ausgangsgröße, in unserem Fall eine elektrische Spannung und der Eingangsgröße (mechanisch aufgebrachte Kraft) ermittelt. Alle konstruktiven Maßnahmen sollen als Ergebnis einen linearen Zusammenhang zwischen diesen beiden erkennen lassen. Die Messungen erlauben, Aussagen über die Abweichung des realen Sensor vom Idealen zu tätigen. Herangezogene Kriterien waren dafür die Hysterese und die Abweichung von der Linearität. Wichtig sind diese Parameter für die Abschätzung des Fehlers, der bei der Messung des Gewichtes entsteht. Bei diesen Test wurde darüber hinaus der Aspekt der mechanischen Aufnahme (Befestigung) des Sensors in der Sitzkonstruktion untersucht. Grundsätzlich boten sich 2 Lösungsansätze an: die sogenannte Einpunkt- bzw. die Zweipunktaufnahme.

Weiter wurde der Einfluss der zu erwartenden Reibung durch die bestehende Konstruktion eingehender untersucht. Konstruktionsbedingt verbindet der KMB die zwei Blechpressteile, die zur Sitzhöhenverstellung verwendet werden und zwischen denen naturgemäß eine gewisse Reibung auftreten kann. Ziel ist es, diese Reibung durch eine geeignete Materialwahl oder einem Entwurf auf ein Minimum zu reduzieren, da diese zu einer Verfälschung des Messergebnis führt. An Hand eines Demonstrators, der auf der Basis der bestehenden Sitzkonstruktion anfertigte wurde, konnten neue Erkenntnisse gewonnen werden. Die Aufnahme der Messsignale erfolgte mittels einer Analogkarte, deren Werte mit einer Analog-Digitalkarte in ein für einen Laptop verwertbares Signal umgewandelt wurden. Die Platzierung der Messplatinen auf der Sitzunterseite ist in **Bild 8** zu erkennen.

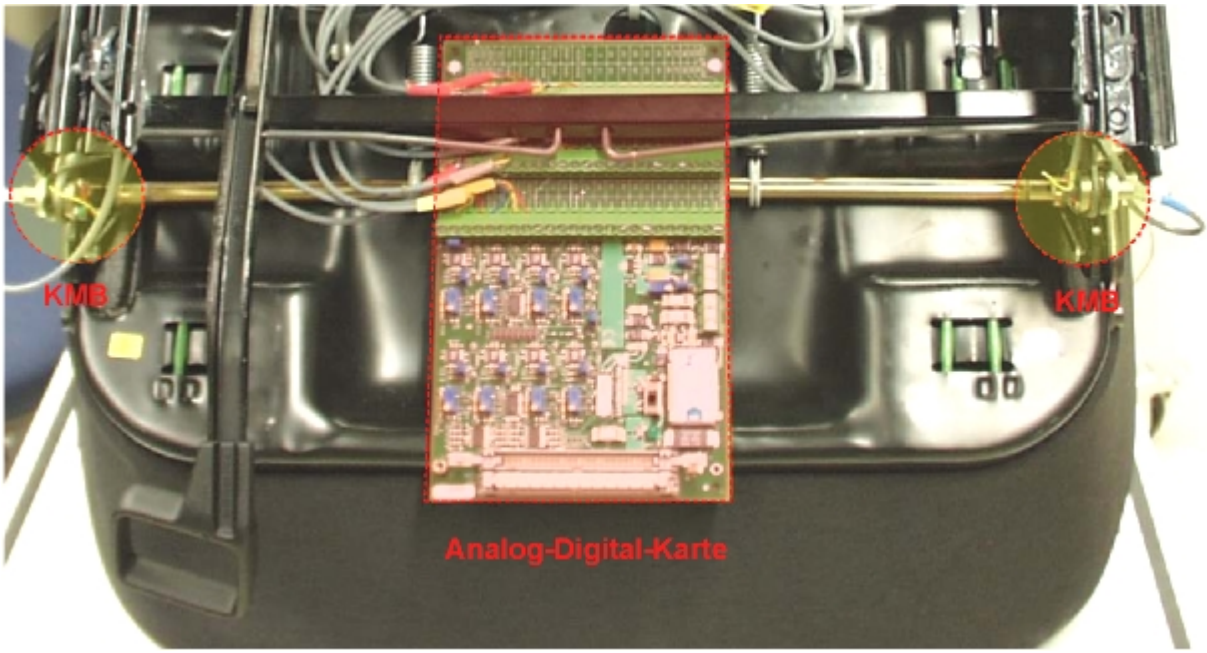


Bild 8: Ansicht der Messtechnik auf der Unterseite des Demonstrators

Um Aussagen über den Einfluss der Sitzhöhenverstellung treffen zu können, wurden Messungen im Labor durchgeführt. Aussagen über das Verhalten des Sensor im Fahrbetrieb konnten natürlich nur abgeleitet werden, in dem die Testanordnungen in ein Fahrzeug implementiert wurden.

1.3.4. Pflichtenheft des Kraftmessbolzens

im Anhang ist das komplette Pflichtenheft ersichtlich.

2. Grundlagen der Kraftmesstechnik

2.1. Einleitung

Um Kraft messen zu können, benötigt man zwei aufeinander abgestimmte Messsysteme. Einen mechanischer Teil, bei dem durch die Krafteinleitung entweder eine Wegänderung oder eine mechanische Spannungsänderung auftritt. Die mechanische Primärgröße wird in ein elektrisches Signal, mittels mechanische Spannung messenden DMS oder wegmessenden Hall-Magnet-System, umgewandelt. In der nachstehenden Abbildung ist die Belastung des Topfbolzen gezeigt.

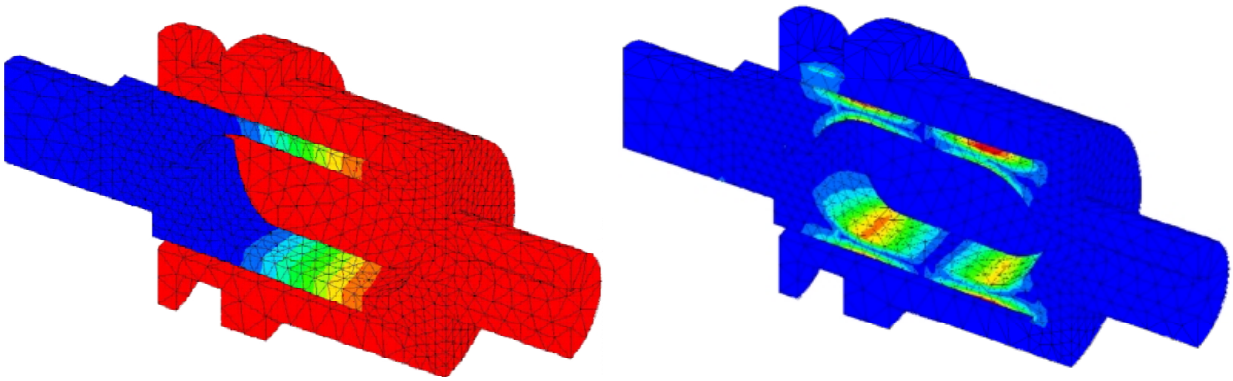


Bild 9: Belastungsfälle Topfbolzen, Wegänderung, auftretende Spannungen

Im linken Bild ist die Änderung des Weges erkennbar. Blau bedeutet keine Änderung des Weges, wogegen rot eine Auslenkung widerspiegelt. Augenfällig ist, dass die Glocke (Topf) bei Belastung in sich steif bleibt, und daher eine ideale Krafteinleitung erlaubt. Im rechten Bild sind die Bereiche, in denen unterschiedliche Spannungen auftreten, erkennbar. Stark mechanisch beanspruchte Bereiche sind rot dargestellt, wogegen nicht beanspruchte blau sind. Diese Spannungen können z. B. mit Dehnungsmessstreifen die auf das Messteil aufgebracht werden in eine Widerstandsänderung umgewandelt werden.

Beim Topfbolzen ist augenscheinlich, dass es im mittleren Bereich des Doppelbiegebalkens zu einer mechanischen Verformung kommt, die sich in der Verengung des Luftspaltes wiederspiegelt. Es gibt viele Lösungsansätze, um diese Abstandsveränderung zu messen. Die wichtigsten seien an dieser Stelle erwähnt. Prinzipiell kann man Abstand optisch, mit Wirbelstromsensoren, Dehnungsmessstreifen oder mittels Hallelementen messen. Da es bei den optischen Lösungen Nachteile durch Verschmutzung, Langlebigkeit, Baugröße und Preis gibt, sind diese Anwendung zur Realisierung eines kompakten KMB nicht geeignet. Beim Messen mit Wirbelstromverfahren ergeben sich folgende Probleme. Der Zusammenhang zwischen der durch die einwirkende Kraft verursachten Abstandsänderung und dem Ausgangssignal ist nicht linear. Das System ist gegenüber Hallelement bzw. DMS zu groß und zu teuer. Weiter gibt es Probleme mit der elektromagnetischen Verträglichkeit im KFZ und Sensor und Elektronik sind nicht integrierbar. Außerdem ist ein Nullabgleich nur schwer möglich. Aus diesen Gründen wurden Hallelement und DMS für die Realisierung des KMB in Betracht gezogen.

2.2. Funktionsweise des Hallsensors

Entdeckt wurde der Halleffekt vom Physiker Edwin Hall im Jahre 1879. Dieser Effekt beruht auf dem Prinzip, dass Elektronen, die durch einen Halbleiter fließen, von der Kraft eines magnetischen Feldes abgelenkt werden. Wird ein dünnes Halbleiterplättchen von einem konstanten Gleichstrom I_e durchflossen, so verteilt sich dieser gleichmäßig über den gesamten Querschnitt des Plättchens. Wird der Halbleiter einem senkrecht zur Platte stehenden Magnetfeld ausgesetzt, so werden die Elektronen im Inneren durch die sogenannte Lorentzkraft abgelenkt. An den seitlichen Randzonen entsteht somit ein Elektronenüberschuss bzw. -mangel. Ist das Plättchen nun seitlich kontaktiert, so kommt es an den Sensoranschlüssen aufgrund der ungleichen Verteilung der Elektronen zu einer Spannungsdifferenz. Diese erwünschte elektrische Größe wird als Hallspannung bezeichnet und erlaubt nun das magnetische Feld als eine äquivalente elektrische Größe zu interpretieren. Verdeutlicht wird dies in nachstehender Abbildung.

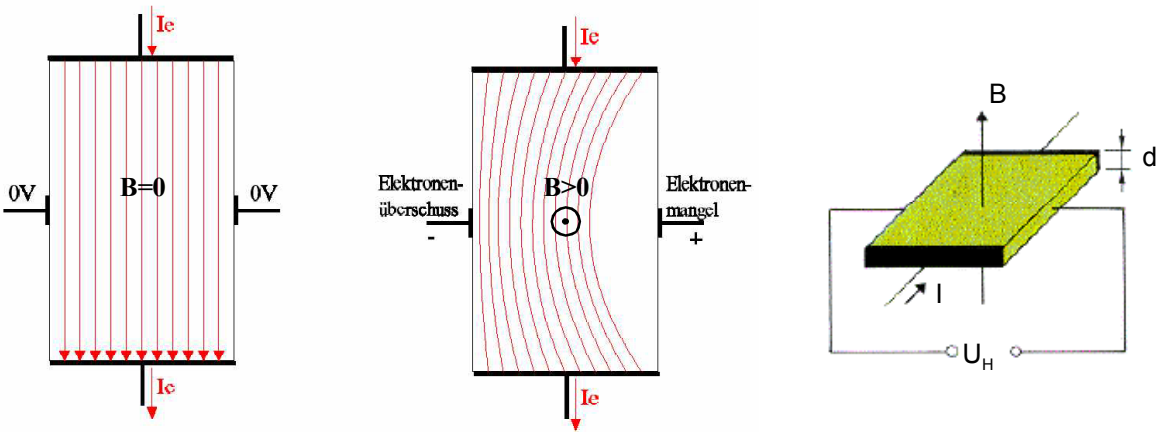


Bild 10: Hallsensor, homogener und inhomogener Elektronenfluss durch das Halbleiterplättchen und geometrische Anordnung

Die Höhe der Hallspannung U_H ist von verschiedenen Größen abhängig. Die wichtigste ist natürlich die proportionale Spannungsabhängigkeit zum magnetischen Feld. Im weiteren hängt die Hallspannung von der Stromstärke I_e, der Plättchendicke und vom Halbleitermaterial ab. Die Hallspannung kann durch folgende mathematische Gleichung beschreiben werden:

$$U_H = R_H \frac{I \cdot B}{d}$$ **Gleichung 1**

U_H: Hallspannung
R_H: Hallkonstante
I: Stromdichte
B: magnetisches Feld
D: Dicke des Plättchens

Die Hallkonstante R_H ist eine Materialkonstante, welche unter anderem die Ladungsträgerbeweglichkeit und die Anzahl der Ladungsträger pro Volumeneinheit des verwendeten Materials berücksichtigt. Vier Beispiele seien im weiteren erwähnt.

- Indiumantimonid (InSb) $R_H \approx 380\ cm^3/As$
- Galiumarsenid (GaAs) $R_H \approx 1.10^4\ cm^3/As$
- Germanium (Ge) $R_H \approx 1.10^3\ cm^3/As$
- Silizium (Si) $R_H \approx 1.10^6\ cm^3/As$

Werden diese Werkstoffe in sehr dünner Form verwendet, so können Spannungen durch den Halleffekt in der Größenordnung von ein paar Zehntel Volt erreicht werden. Der Halbleiter ist heutzutage meist auf ein Trägermaterial, wie z.B. SOIC, aufgedampft, wobei eine Schichtdicke von einigen µm erreicht wird.
Über die Kosten von Hallsensoren ist zu sagen, dass der Preis vom Anwendungsgebiet abhängt. Automotive Sensoren kosten bis zum 7-fachen mehr als zum Beispiel in der Telekommunikation, Instrumentierung oder in Computer eingesetzte. Chips für die KFZ Branche sind deswegen teuerer, weil ihr Temperaturbereich wesentlich größer ist und der Spannungsbereich, in dem sie betrieben werden, sehr stark variieren kann. Durch die hohen auftretenden Stückzahlen sind aber Preise deutlich unter einem Euro erreichbar.

2.2.1. Verwendete Hallsensoren

Man unterscheidet zwei Arten von Hallsensoren:

- schaltend
- analog

Bei ersteren kommt es durch das Annähern eines Magneten zu einem Schaltspiel. Ist kein magnetisches Feld gegenwärtig dann ist der Sensor in der Ausstellung. Beeinflusst hingegen eine magnetische Quelle das Messelement, dann wechselt er in den Einzustand über. Diese Art beinhaltet zwar ein analoges Hallelement, mit Hilfe der Auswerteelektronik werden aber nur zwei Schaltzustände erlaubt. Da aber eine Sitzbelegungserkennung nicht ausreichend ist, sondern das Gewicht der zu schützenden Person gemessen werden soll, ist diese Art der Hallsensoren ungeeignet.
Die zweite Gruppe bilden die analogen Hallelemente. Mit ihnen ist es möglich ein der Eingangsgröße proportionales Ausgangssignal zu generieren. Stellt man sich nun ein Magnet vor, welcher sich auf den Hallsensor zu bewegt, so steigt mit sinkendem Abstand die Ausgangsspannung. Siehe nachstehendes Bild.

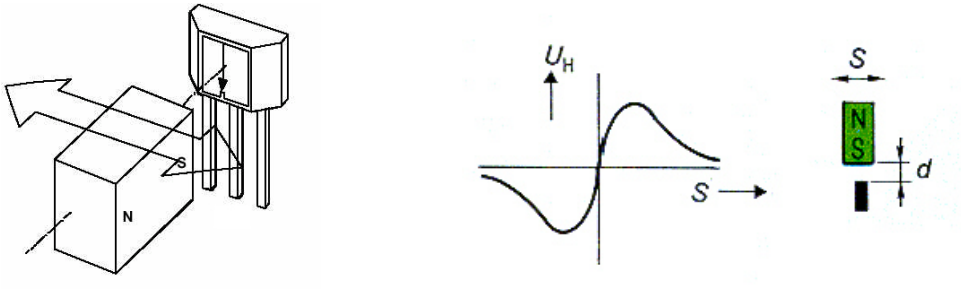


Bild 11: Funktionsweise des analogen Hallelements

2.2.1.1. KSY 14 von Infineon

Verwendet wurde einerseits der Hallsensor KSY 14 der Firma Infineon, der durch das Implantieren von Ionen in monokristallinem GaAs gefertigt wird. Seine Eigenschaften sind eine hohe Sensitivität, hohe Betriebstemperatur, kleiner Linearitätsfehler, kleine Offsetspannung, niedriger Temperaturkoeffizient, extrem kleines Plastikgehäuse mit einer Dicke von 0.7 mm und Anschlüsse auf einer Seite des Gehäuses. Das Datenblatt ist im Anhang einzusehen. Pin 1 (mit einem Punkt gekennzeichnet) und Pin 2 sind für den für den erforderlichen Strom I vorgesehen und die restlichen zwei Pins dienen zum Abgreifen der Hallspannung. Zusätzliche Informationen sind unter www.infineon.com/products/sensors abrufbar.

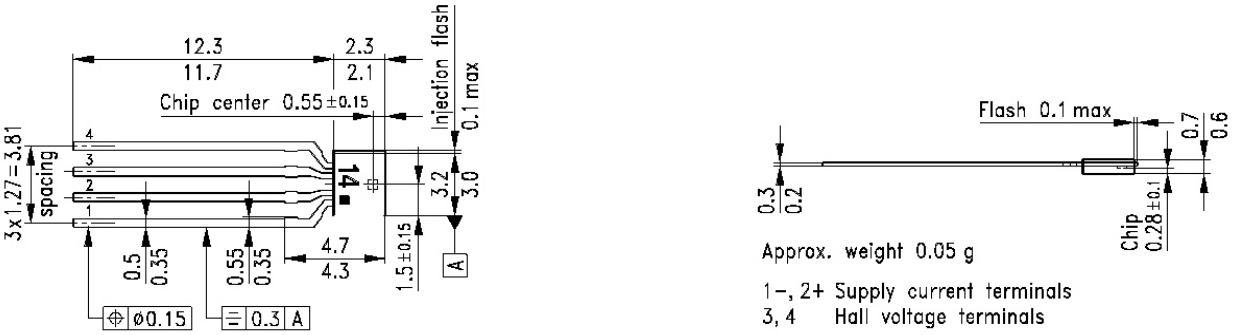


Bild 12: Verwendeter Hallsensor KSY 14

2.2.1.2. MLX 90251 – Melexis

Der MLX 90251 ist ein programmierbarer Halleffekt-IC, welches aus Silizium in CMOS Technik gefertigt wird. Dieser IC bietet die Möglichkeit diverse Parameter frei programmiert zu können. Es erlaubt, im Gegensatz zu anderen Hallelementen, dass Offsetfehler verkleinert bzw. eliminiert werden können. Weiter bietet er die Möglichkeit der freien Wahl der Temperaturkoeffizienten für das Hallelement selbst, das Trägermaterial, und der Magnete. Näheres ist der Homepage unter www.melexis.com zu entnehmen. Gespeichert werden diese Informationen im EEPROM, welches im unten abgebildeten Blockbild ersichtlich ist. Diese digitalen Informationen werden dann ins Schieberegister übergeben. Die DACs (Digital-Analog-Wandler) dienen dazu, digital gespeicherte Größen in analoge, etwa für den OPA (Operationsverstärker), umzuwandeln. Über den Output-Pin kann der IC programmiert werden, in dem die Versorgungsspannung auf einem Bereich zwischen 8 und 9 V angehoben wird. Alle angeschlossenen Komponenten müssen ebenfalls für diese Spannung ausgelegt sein. Dies kann vorstellbar auch nach dem Einbau, über das Steuergerät erfolgen.

Die Ausgangsspannung ist proportional zur Versorgungsspannung. Wenn sich der Südpol bzw. der Nordpol eines Magneten seitlich am Sensor vorbeibewegt, kommt es zu einem Anstieg bzw. Abfall der Ausgangsspannung. Die Anschlüsse des Sensors bzw. seine Innenbeschaltung sei in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Es erfolgt die positive Spannungsversorgung über Pin 1. Der Anschluss der Masse erfolgt über Pin 3. Pin 2 und wird für die Programmierung benutzt, wobei

er später im Gebrauch mit der Masse verbunden werden kann. Mit Pin 4 kann die analoge Ausgangsspannung gemessen werden.

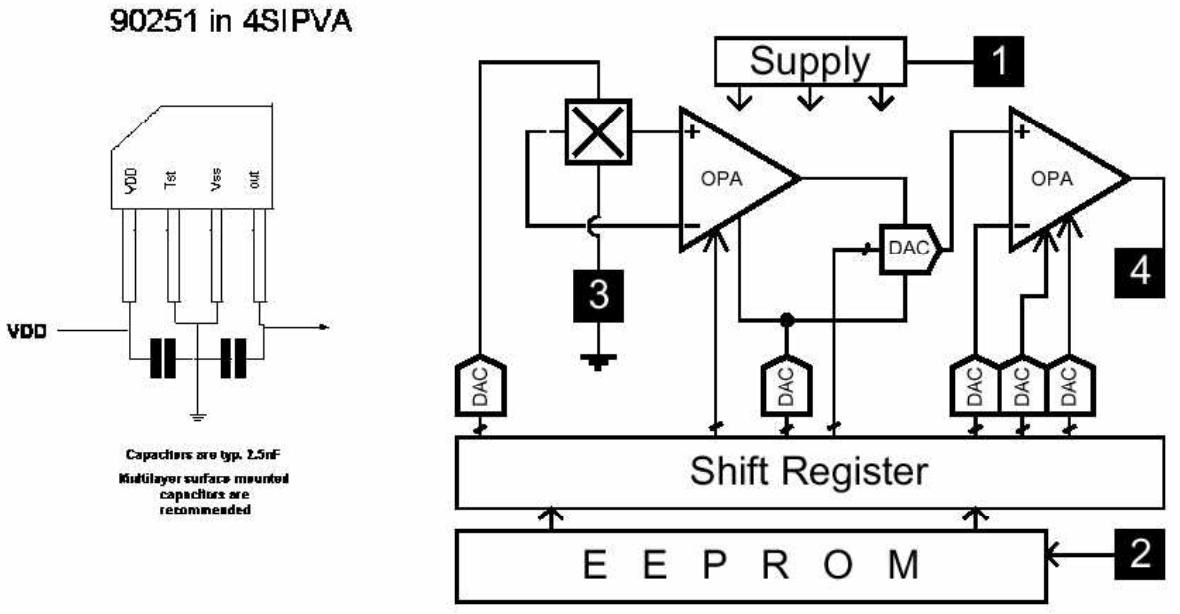


Bild 13: MLX 90251 Pinbelegung, Blockschaltbild

2.2.1.3. Magnete Bramag

Verwendet wurden Selten Erden Magnetstoffe Bramag 18 ($SmCo_5$), welche eine sehr hohe spezifische Energiedichte aufweisen. Sie stellen daher ein Optimum in Bezug auf Platz, Störbarkeit, Gewicht und Größe des Magnets dar. Die Magnetwerkstoffe sind mit den Bestandteilen Kobalt (hohe Remanenz) und Samarium (hohe Koerzitivfeldstärke) gesintert. Eine Anistropie des Werkstoffes kann durch Anlegen eines Magnetfeldes während des Sinterprozesses erfolgen. Weitere Einsatzgebiete wären als Haftmagnetsysteme, als Segmente für Permanentmagnetmotoren oder auch im Bereich der Medizintechnik.

Eigenschaften:

- hohe spezifische Energiedichte
- hohe Entmagnetisierungsstabilität
- Querschnitt-Längenverhältnis kann unter 2:1 liegen
- gute Korrosionsbeständigkeit
- elektrisch leitend
- lieferbar in Standardabmessungen oder auf Bestellung
- temperaturstabil von –40 bis +85 Grad

2.3. Funktionsweise des Dehnungsmessstreifen (DMS)

2.3.1. Anwendung

Dehnmessstreifen finden heute in vielen Bereichen der Technik ihre Anwendung. So können sie nicht nur Dehnung messen, wie ihr Name verrät, sondern auch abgeleitete mechanische Größen, wie Kraft, Druck und Drehmoment. Ein weiteres Anwendungsgebiet der DMS ist die experimentelle Spannungsanalyse, bei der aus gemessenen Dehnungen die mechanischen Spannungen im Messobjekt ermittelt und damit Aufschlüsse auf dessen Beanspruchung gezogen werden können. Grundsätzlich werden Halbleiter-, Dünnschicht-, und Dickschicht-DMS verwendet.
Der Dehnungsmessstreifen erfährt eine mechanische Längenänderung, welche eine Änderung seines elektrischen Widerstandes hervorruft. Der Zusammenhang zwischen Verformung und Spannung in einem Werkstoff wird im elastischen Verformungsbereich durch das Hook´sche Gesetz beschrieben. Dieses darf aber im elastoplatischen Bereich nicht mehr angewendet werden. Das grundsätzliche Prinzip des DMS besteht darin, dass die auftretenden Spannungsänderungen einem auf einem Trägermaterial befestigtem elektrischem Leiter aufgezwungen werden, der durch die resultierende Dehnung seinen Widerstandwert ändert.

Der Widerstandswert eines schlanken Leiters mit dem Querschnitt A, der Länge l und dem spezifischen Widerstrand ρ wird wie folgt beschrieben:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$ **Gleichung 2**

Bei einer Dehnung tritt gleichzeitig Verlängerung und Querschnittsminderung ein. Die dadurch verursachte Widerstandsänderung $\Delta R/R$ lässt sich durch die partielle Differentiation der folgenden Gleichung beschreiben.

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta A}{A}$$ **Gleichung 3**

Definitionsgemäß versteht man unter Empfindlichkeit eines Messelements das Verhältnis der beobachtbaren Änderung seiner Ausgangsgröße zu der sie verursachenden Änderung der Eingangsgröße. Die Eingangsgröße des DMS ist die Dehnung ε und die Ausgangsgröße die dadurch verursachte Widerstandsänderung $\Delta R/R$. Der Zusammenhang zwischen den beiden Größen wird mittels des k-Faktors beschrieben.

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l} = k \cdot \varepsilon$$ **Gleichung 4**

2.3.2. Wheatstone´sche Brückenschaltung

Die mit Hilfe des DMS in ein elektrisches Signal umgeformte mechanische Größe kann im weiteren mit einer Wheatstone´schen Brückenschaltung gemessen werden. Eine Änderung des Widerstandswertes des Dehnungssensors hat eine Veränderung der Ausgangsspannung der Brückenschaltung zur Folge. Die Brückenschaltung bietet ausgezeichnete Möglichkeiten, bei der Umformung die Auswirkungen von unerwünschten Einflüssen, wie sie z. B. durch Temperatureinwirkung auftreten können, zu kompensieren.

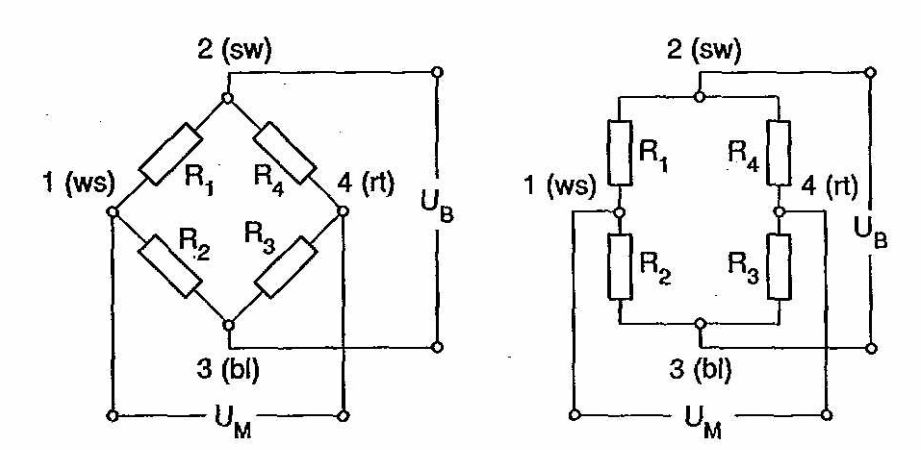


Bild 14: Wheatstone´sche Brückenschaltung

Das obige Bild gibt schematisch den prinzipiellen Aufbau der Brückenschaltung wieder, die aus vier Brückenzweigen mit den Widerständen R_1 bis R_4 besteht. Die Speisung der Schaltung erfolgt mit einer Spannung an den gegenüberliegenden Eckpunkten (2, 3). Die Wirkungsweise der Brücke besteht darin, dass die Ausgangsspannung, welche an den anderen beiden Eckpunkten (1, 4) abgenommen wird, von den Widerstandsverhältnissen innerhalb der vier Brückenzweige abhängig ist. Dieser Effekt wird beim Messen mit DMS genutzt, indem ein Widerstand der Brücke durch einen DMS ersetzt wird, und somit die Änderung der Ausgangsspannung der Dehnung proportional ist. Durch Anwendung der Kirchhoff´schen Maschenregeln erhält man folgenden Zusammenhang:

$$\frac{U_M}{U_B} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$ **Gleichung 5**

U_M: Brückenausgangsspannung
U_B: Brückenspeisespannung

Aus diesem Zusammenhang kann man ersehen, dass unter den folgenden Bedingungen die Messbrücke abgestimmt ist und die Ausgangsspannung Null ist.

$R_1=R_2=R_3=R_4$

$R_1=R_2$ und $R_3=R_4$ **Gleichung 6**

$R_1/R_2=R_3/R_4$

Um die weiteren Betrachtungen zu vereinfachen, wird der Nennwiderstand R_0 eingeführt. Dieser Wert besagt, dass vor Eintreten einer Dehnung alle Dehnmessstreifen den gleichen Widerstandswert aufweisen.

$R_0=R_1=R_2=R_3=R_4$ **Gleichung 7**

Grundgleichung der Wheatstone´schen Messbrücke bei Verstimmung:

$$\frac{U_M}{U_B}=\frac{(\Delta R_1-\Delta R_2+\Delta R_3-\Delta R_{4)}}{2\cdot(2R_0+\Delta R_1+\Delta R_2+\Delta R_3+\Delta R_4)}$$ **Gleichung 8**

Durch die Vereinfachungen, dass die Widerstandsänderung ΔR_i sehr viel kleiner als R_0 ist und beim Verformen von metallischen Werkstoffen weiter die Vereinfachung $\Delta R_1 << R_0$ angenommen werden kann, resultiert der Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsspannung der Brücke, der in nachfolgender Näherungsformel beschrieben wird.

$$\frac{U_M}{U_B}=\frac{\Delta R_1}{4R_0}$$ **Gleichung 9**

Das Messen mit DMS in der Anordnung der Wheatstone´schen Brückenschaltung erfordert das Vorhandensein aller Brückenzweige, wobei aber nicht alle mit DMS bestückt sein müssen. So kann man zwei oder drei der Brückenzweige mit Festwiderständen versehen. Daraus ergibt sich die Anwendung als **Voll-, Halb-,** oder **Viertelbrücke**. Die Bezeichnung bezieht sich nur auf den Teil der Brücke, in dem die DMS eingesetzt sind. Die Ergänzung der Brücke erfolgt, wie aus dem folgenden Bild ersichtlich, durch im Messgerät angeordnete zuschaltbare Festwiderstände.

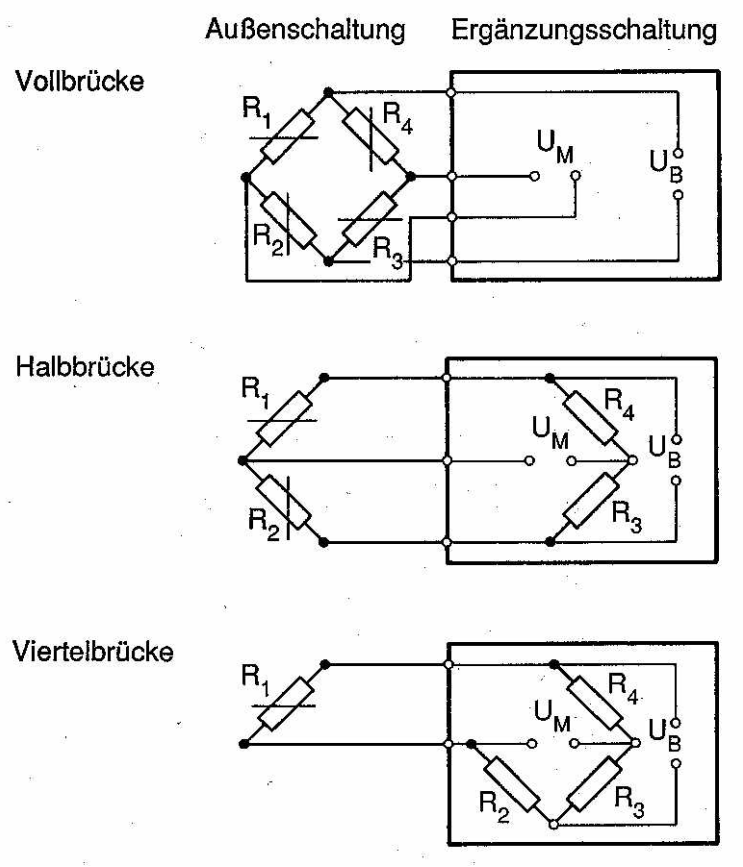


Bild 15: Voll-, Halb-, und Viertelbrücke

2.3.3. Temperaturkompensation

Aus der Grundgleichung der Brückenschaltung kann man erkennen, dass sich gleichsinnige Widerstandsänderungen in benachbarten Brückenzweigen aufheben und in gegenüberliegenden addieren. Diese Eigenschaft wirkt sich besonders nutzbringend auf die Kompensation von temperaturbedingten Einflüssen aus. Wird z. B. eine Vollbrücke, die aus vier DMS mit gleichem Temperaturgang besteht, einer Temperaturänderung unterworfen, so wird diese in jedem Dehnungsmessstreifen die gleiche Widerstandsänderung (=scheinbare Dehnung) hervorrufen. Daraus resultiert aber, dass dies keine Änderung des Ausgangssignals zur Folge hat. Der Einfluss der Temperaturkompensation ist in **Bild 16** noch einmal dargestellt.

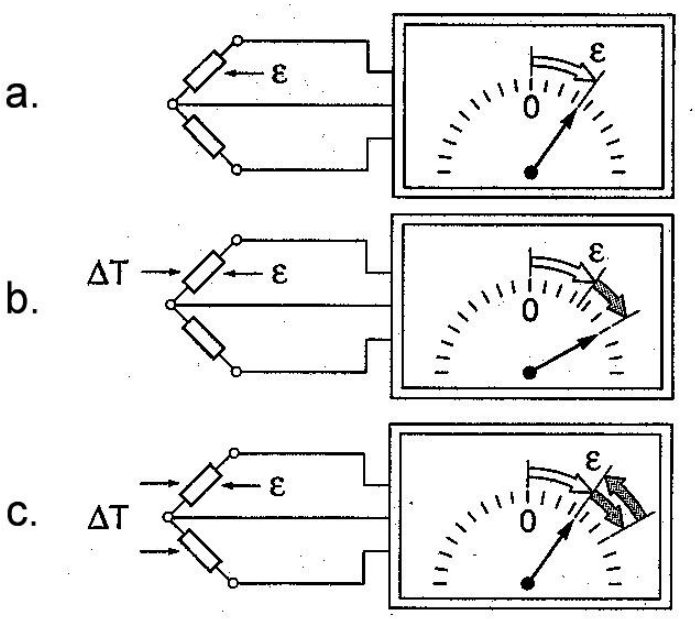


Bild 16: Einfluss der Temperatur

Im Fall

a. kommt es zu einer Verstimmung der Brücke durch eine Dehnung ε des DMS. Dadurch erhöht sich die Ausgangsspannung proportional zur Dehnung ε und ist als Ausschlag am Zeigerinstrument ablesbar. In

b. wirken sowohl eine mechanische Kraft, als auch eine Temperaturänderung auf einen DMS ein. Deshalb kommt es durch beide Größen zu einer Vergrößerung der Spannung. Fall

c. ist ähnlich dem Fall b, nur dass der Einfluss der Temperatur an beiden DMS angreift und sich die Anteile letztlich kompensieren. Es ist nur der Teil der Ausgangsspannung messbar, welcher durch die Dehnung verursacht wurde. Dieser Fall verdeutlicht also die Notwendigkeit einer funktionierenden Temperaturkompensation.

2.3.4. Verwendete DMS-Sensor

Zwei Arten von Dehnungsmessstreifen sind hier erwähnt. Die Gruppe der Halbleiter-DMS, die aufgrund ihrer schweren Applizierbarkeit im Rahmen der Diplomarbeit nicht zum Einsatz kommen und die Gruppe der folienbasierenden, wie zum Beispiel der im folgenden beschriebene:

HBM 1-XY91-1,5/120

Verwendet wurde ein Dehnungsmessstreifen der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik vom Typ **1-XY91-1,5/120**. Es handelt sich dabei um einen Universal-DMS für die Spannungsanalyse, der eine leichte Handhabung und sehr flexible Einsatzgebiete erlaubt und in vielen Geometrien verfügbar ist. Es handelt sich dabei um einen Folien-DMS mit eingebettetem Messgitter aus Konstantanfolie, deren Dicke, je nach verwendetem DMS, im Bereich zwischen 3,8 oder 5 µm liegt. Seine Seitenlängen betragen 6,2 bzw. 7,9 mm. Das Trägermaterial besteht aus Polyamid und die Anschlüsse sind aus nickelplattiertem Kupferbändern. Die maximale zulässige Brückenspeisespannung beträgt 3,5 Volt. Der Nennwiderstand des DMS beträgt 120 Ohm bei einer Widerstandstoleranz von +/- 0,35 Ohm. Der Vorteil bei der Wahl des Widerstandswertes in dieser Größenordnung liegt in der Unempfindlichkeit

gegenüber Schwankungen des Isolationswiderstandes z.B. durch Einwirkung von Feuchtigkeit. Höherohmige DMS erzeugen weniger Eigenwärme aufgrund des kleineren Messstroms und sind unempfindlicher gegenüber dem ohmschen Widerstand in den Messleitungen. Dafür aber bilden sie bessere Antennen für den Empfang von Störimpulsen. Der Bereich, in dem der Sensor betrieben werden kann, beträgt –70 bis +200 Grad Celsius und bietet folglich genug Reserven, um in einem Kraftfahrzeug zum Einsatz zu kommen. Die Referenztemperatur für welche die technischen Daten gelten ist 23 Grad Celsius. Weitere Informationen sind aus dem Datenblatt im Anhang zu entnehmen. Aufgrund der starken mechanischen Belastung an der Verbindungsstelle zwischen DMS und Messelement ist es nicht erlaubt, diese Dehnungsmessstreifen in der KFZ-Branche zu verwenden, weil die erforderliche Verklebung von diesen für den Einsatz in einem Personenwagen nicht hinreichend gewährleistet werden kann. Deshalb werden bei der Endfertigung des KMB DMS in Dünnschichttechnik verwendet und entweder mit Ultraschall- oder Widerstandschweißen befestigt. Auf der rechten Seite ist der Dehnmessstreifen von HBM abgebildet, bei dem die Anschlüsse für die Brückenspeisespannung und für die Ausgangsspannung, sowie die Struktur des Widerstandsdrahtes erkennbar sind.

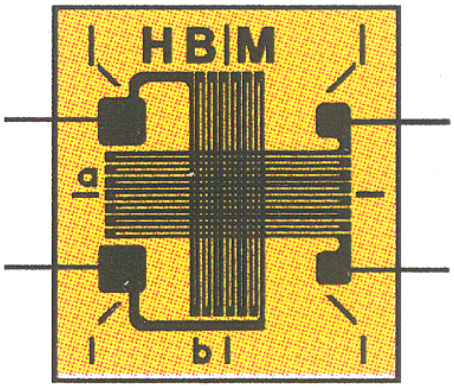


Bild 17: Dehnmessstreifen

2.4. Weiterverarbeitung der KMB-Signale

2.4.1. Allgemeines

Mit der Einführung der Sicherheitsfahrgastzelle und des Sicherheitsgurtes in Kraftfahrzeugen begann die verstärkte Entwicklung verschiedener Zusatzeinrichtungen zur Verbesserung des passiven Insassenschutzes. Wichtige Meilensteine auf diesem Weg waren die Airbags, heute für Front-, Seiten- Knie-, Fond-, Fußraum-, Kopfstützenairbags, mit zwei oder mehrstufigen Gasgeneratoren zur Auslösung. Die Arbeitsweise eines Airbags sei im folgenden beschrieben. Um Fahrer und Beifahrer zu schützen, blasen nach einem von Sensoren erkannten Fahrzeugaufprall pyrotechnische Gasgeneratoren die Airbags explosionsartig auf. Um die volle Schutzwirkung zu liefern, muss der Airbag vollkommen gefüllt sein, bevor der Insasse ihn berührt. Nach dem Crash entleert er sich in einer Zeit von 80 bis 100 ms durch Ausströmöffnungen bzw. durch das poröse Außenmaterial. Die Auslösung ist im nachfolgenden Bild gezeigt.

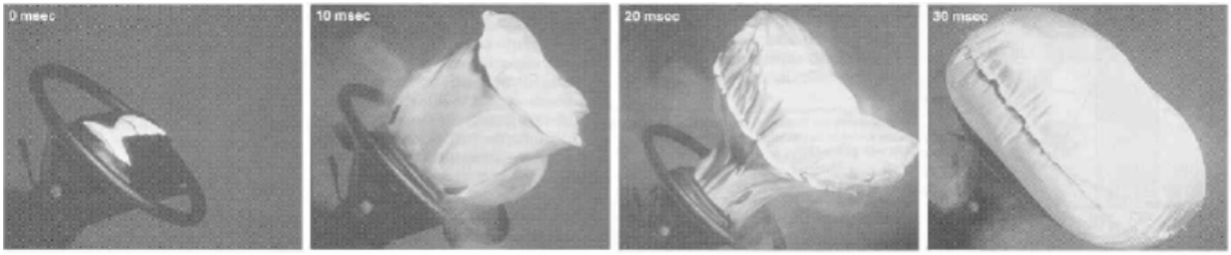


Bild 18: Auslösevorgang des Airbags

2.4.2. Komponenten des Insassensicherheitssystems

- Airbag
- Gasgenerator
- Beschleunigungssensor
- Kombiniertes Steuergerät

Die **Beschleunigungssensoren** sind meist direkt ins Steuergerät integriert. Die Sensoren für die Sidebags sind meist an ausgewählten Stellen der linken und rechten Karosserieseite angebracht. Ihre Präzision ist lebenswichtig. Bei den Beschleunigungssensoren handelt es sich um oberflächenmikromechanische Bauteile, die aus festen und beweglichen Fingerstrukturen und Federstegen bestehen. Das Feder-Masse-System ist mit einem speziellen Verfahren auf die Oberfläche einer Siliziumscheibe (Wafer) aufgebracht.

Im Mittelpunkt der bedarfsgerechten Schutzmittelaktivierung steht die Sensierungs- und Auslöseelektronik im **Steuergerät**. Ein wichtiges Kriterium bei der Ermittlung des Auslösezeitpunkts ist die maximal zulässige Insassenvorlagerung. Dies ist der maximale Weg, um den sich die Fahrzeuginsassen nach dem Aufprall vorwärtsbewegen dürfen, bevor sie der entfaltete Airbag auffängt. Ein typischer Wert dafür ist 12 cm. Bei einem Frontalaufprall mit 50 km/h erreicht man ihn nach 40 ms. Dann muss der Airbag aufgeblasen sein. Seine Entfaltung dauert ungefähr 30 ms, wodurch dem Auslösegerät eine Zeit von ca. 10 ms zur Verfügung steht, um die Crash-Auswertung durchzuführen und den Zündimpuls zu generieren. Um höchste Sicherheit zu erreichen, wertet das Auslösegerät zusätzlich zur Informationen des mikromechanischen Beschleunigungs-Hauptsensors das Signal eines weiteren mechanischen oder elektronischen Beschleunigungsaufnehmers aus. Störungen durch elektromagnetische Felder oder Sensordefekte sind damit jederzeit erkennbar. Zusätzlich muss der Aufprall bewertet werden, so dass ungewollte Auslösung vermieden werden kann. Ein Hammerschlag in der Werkstatt, leichte Stöße oder Fahrten über Bordsteinkanten oder Schlaglöcher dürfen zu keiner Aktivierung des Rückhaltesystems führen. Die Sensorsignale werden dazu in digitalen Auswertealgorithmen verarbeitet, deren Empfindlichkeitsparameter mit Hilfe von Crashdaten optimiert werden.
Steuergeräte sind mit einer Selbstüberwachung ausgestattet und überprüfen zusätzlich den ordnungsgemäßen Zustand der Kabel, Zündkreise und der Zündelemente. Im Fehlerfall aktiviert das Steuergerät die Kontrollleuchte und speichert den Fehler. Der Inhalt der Fehler- und Crash-Daten-Speichers kann über eine serielle Schnittstelle ausgelesen und verwertet werden. Fällt das Bordnetz bei einem Crash aus, stellt eine Energiereserve für eine festgelegte „Überlebenszeit“ die Datenspeicherung sicher.

Im Steuergerät sind folgende Funktionen integriert

- Aufprallerkennung durch Beschleunigungssensoren und Sicherheitsschalter oder durch zwei Beschleunigungssensoren.
- Zeitrichtige Ansteuerung der Auslösekreise von Airbags und Gurtstraffer bei unterschiedlichen Aufprallarten (z.B. frontal, schräg, versetzt, Pfahl).
- Spannungswandler und Energiespeicher für den Fall, dass die Versorgung durch die Fahrzeugbatterie verloren geht.
- Selektive Auslösung der Gurtstraffer, abhängig von der Gurtschlossabfrage: Zündung nur bei belegtem Gurtschloss.
- Einstellen zweier Airbagauslöseschwellen, abhängig davon ob der Insasse angeschnallt ist oder nicht.
- Anpassungen an die verschiedenen Fahrzeugmerkmale (Energieabsorption des Fahrzeugvorbaus und Schwingungsverhalten der Karosserie).
- Diagnose geräteinterner und externer Funktionen bzw. Systemkomponenten. Abspeichern von Fehlerarten und –dauern mit Crashrecorder; Auslesung über Diagnoseschnittstellen.
- Ansteuerung einer Warnlampe.

2.4.3. Aufbau eines kombinierten Steuergerätes

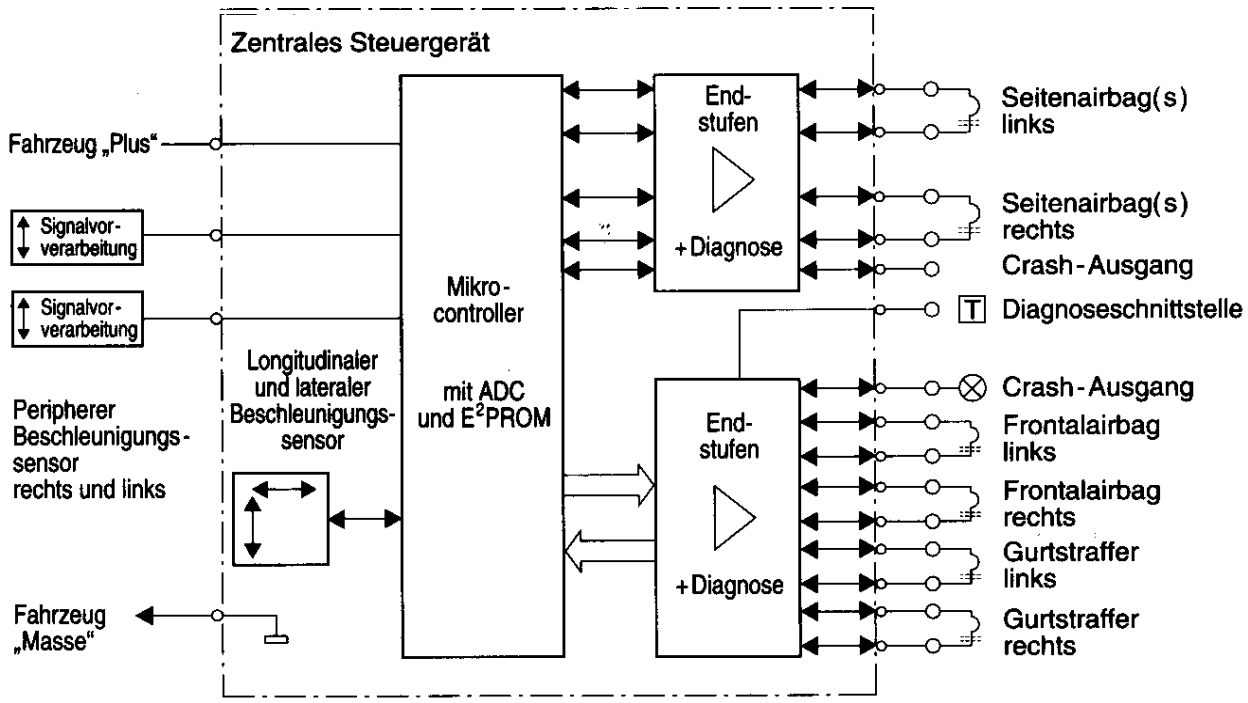


Bild 19: Aufbau eines Steuergerätes

2.4.4. Datenverarbeitung

2.4.4.1. Eingangssignale

Die Signale der Sensoren werden dem Steuergerät über Schutzbeschaltungen und gegebenenfalls über Signalwandler und Verstärker zugeführt.

- Analoge Eingangssignale werden von einem Analog/Digitalwandler (A/D) im Mikroprozessor des Steuergerätes in digitale Werte umgeformt.
- Digitale Eingangssignale können vom Mikroprozessor direkt verarbeitet werden.
- Das Signal eines induktiven Raddrehzahlsensors wird in einem Schaltungsteil im Steuergerät aufbereitet, um Störimpulse zu unterdrücken.

Je nach Integrationsstufe kann eine Signalaufbereitung teilweise oder auch ganz im Sensor stattfinden.

2.4.4.2. Ausgangssignale

Die Mikroprozessoren steuern mit den Ausgangssignalen Endstufen an, die genügend Leistung für den direkten Anschluss der Stellglieder (Aktoren) liefern. Diese Endstufen sind gegenüber Kurzschlüssen gegen Masse oder der Batteriespannung sowie gegen Zerstörung durch elektrische Überlastung geschützt. Zusätzlich werden einige Ausgangssignale über Schnittstellen an andere Systeme weitergegeben.

2.4.4.3. Signalverarbeitung im Steuergerät

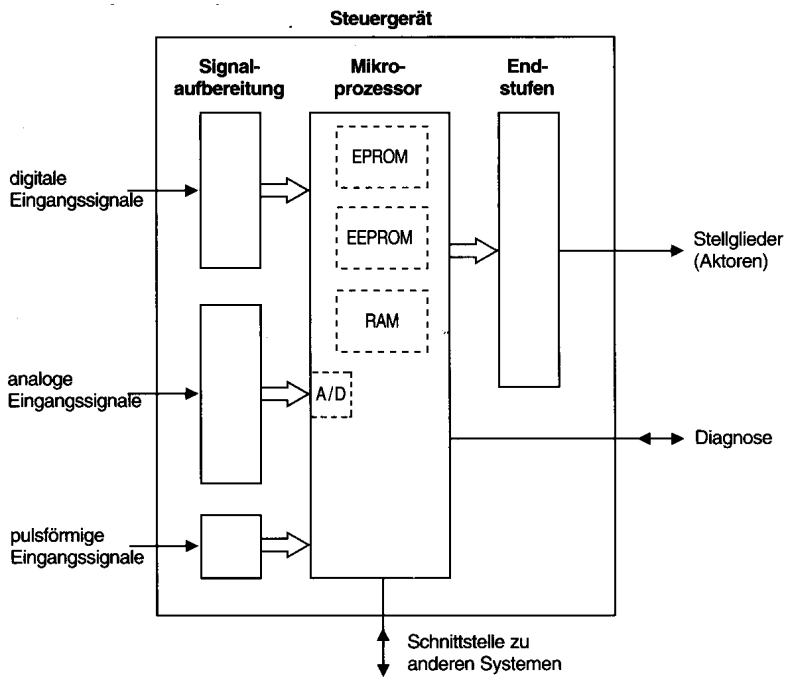


Bild 20: Blockschaltbild des Steuergerätes

Die Mikroprozessoren im Steuergerät verarbeiten die Eingangssignale. Sie benötigen dafür ein Programm, das in einem Festwertspeicher (ROM, EPROM, oder Flash EPROM) gespeichert ist. Zusätzlich sind fahrzeugspezifische Daten sowie Abgleich-, oder Fertigungsdaten in einem nichtflüchtigen Schreib-/Lesespeicher (EEPROM) gesichert. Wegen der Vielzahl der Motor- und Ausstattungsvarianten sind Steuergeräte mit einer Variantencodierung ausgestattet. Die Information auf welche Variantencodierung das Steuergerät zugreifen soll erhält das Steuergerät vom CAN-Bus, einem anderen Steuergerät oder vom EEPROM.

2.4.5. Datenübertragung zu anderen Systemen

Der verstärkte Einsatz von elektronischen Steuer- und Regelungssystemen im Kraftfahrzeug wie z.B. Fahrdynamikregelung, elektronische Motorsteuerung, elektronische Wegfahrsperre, ABS, usw. erfordern eine Vernetzung zwischen den einzelnen Steuergeräten. Der Informationsaustausch zwischen den Systemen verringert die Anzahl der Sensoren und verbessert die Ausnutzung der Einzelsysteme. Die Schnittstellen der speziell für Kraftfahrzeuge entwickelten Kommunikationssysteme können in zwei Kategorien unterteilt werden:

- konventionelle Schnittstellen
- serielle Schnittstellen, z.B. Controller Area Network (CAN)

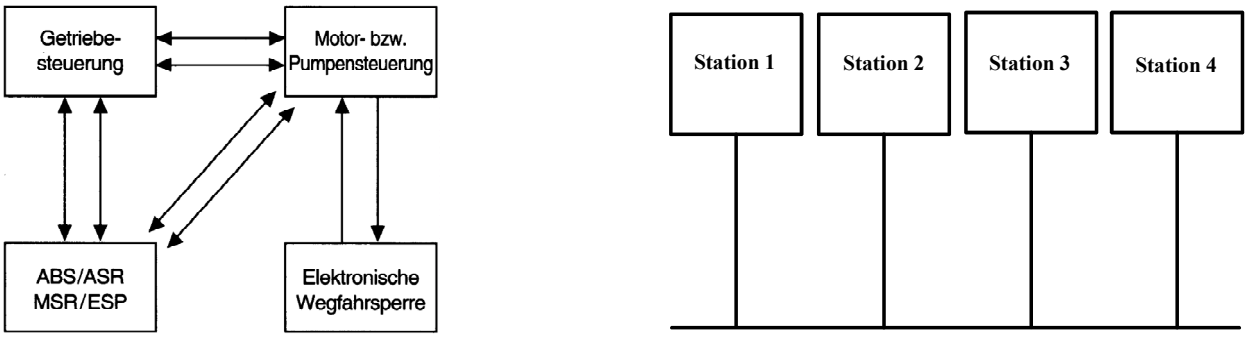


Bild 21: konventionelle, serielle Datenübertragung

2.4.5.1. Konventionelle Datenübertragung

Die konventionelle Datenübertragung ist dadurch gekennzeichnet, dass jedem Signal eine Einzelleitung zugeordnet ist. Signale können nur binäre Zustände annehmen z.B. Bremslicht ein oder aus. Über Tastverhältnisse können kontinuierlich veränderliche Größen übertragen werden. Der zunehmende Datenaustausch kann aber mit dieser Art der Schnittstellen nicht mehr vernünftig bewältigt werden. Die Komplexität der dadurch geforderten Kabelbäume ist schon heute nur mehr mit großem Aufwand beherrschbar.

2.4.5.2. Serielle Datenübertragung (CAN – Controller Area Network)

Die auftretenden Probleme beim Austausch von Daten mit konventionellen Schnittstellen können durch den Einsatz von Bussystemen (Datensammelschienen wie der CAN-Bus) gelöst werden, sofern die verwendeten Steuergeräte eine CAN-Schnittstelle besitzen. Es gibt drei wesentliche Einsatzgebiete für CAN:

- Steuergerätekopplung
- Karosserie- und Komfortelektronik
- Mobile Kommunikation

Die folgende Beschreibung greift die Steuergerätekopplung auf.

Steuergerätekopplung:

Dabei werden elektronische Systeme miteinander gekoppelt. Die Steuergeräte sind dabei als gleichberechtigte Stationen über eine lineare Busstruktur verbunden. Diese Struktur hat den Vorteil, dass das Bussystem bei Ausfall einer Station für alle anderen weiterhin voll verfügbar ist. Im Vergleich zu Ring- oder Sternstrukturen wird damit die Wahrscheinlichkeit für einen Gesamtausfall wesentlich verringert. Typische Übertragungsraten sind ca. 125 kBit/s bis 1 Mbit/s. Die Übertragungsraten sind deshalb so hoch damit das geforderte Echtzeitverhalten erfüllt werden kann.

Inhaltsbezogene Adressierung

Es werden nicht die einzelnen Stationen adressiert, sondern das Bussystem ordnet jeder Station einen oder mehrere 11 oder 29 Bit langen „Identifier“ (Identifizierungscode) zu. Dieser kennzeichnet den Inhalt der Botschaft, z.B. Raddrehzahl.
Eine Station verwendet nur diejenigen Daten, deren zugehöriger Identifier in der Liste der entgegenzunehmenden Botschaften gespeichert sind (Akzeptanzprüfung). Alle anderen Daten werden ignoriert. Die inhaltsbezogene Adressierung ermöglicht es, ein Signal an mehrere Stationen zu senden, indem ein Sensor sein Signal direkt bzw. über ein Steuergerät an das Busnetz schickt und dieses dort verteilt wird. Außerdem lassen sich viele Ausstattungsvarianten realisieren, weil weitere Stationen zu einem bereits bestehenden Bussystem einfach hinzugefügt werden können.

Priorisierung

Der Identifier bestimmt neben dem Inhalt der Nachricht gleichzeitig auch die Wichtigkeit oder Priorität der Nachricht. Ein Signal das sich sehr schnell ändern kann muss auch sehr schnell weitergegeben werden und bekommt daher eine wesentlich höhere Priorität als ein verhältnismäßig langsam variierendes.

Busvergabe

Wenn der Bus frei ist, kann jede Station beginnen, ihre Botschaft zu übertragen. Beginnen mehrere gleichzeitig zu senden, dann setzt sich die Botschaft mit der höchsten Priorität durch, ohne dass ein Zeit- oder Bitverlust zustande kommt. Die Sender mit niedrigerer Priorität werden dann einfach zu Empfängern und wiederholen ihren Sendeversuch, sobald der Bus wieder frei ist.

Botschaftsformat

Für die Übertragung auf dem Bus wird ein Datenrahmen (Data Frame) aufgebaut, dessen Länge maximal 130 Bit (Standardformat) bzw. 150 Bit (erweitertes Format) beträgt. Damit ist sichergestellt, dass die Wartezeit bis zur nächsten, möglicherweise sehr dringenden Übertragung, stets kurz gehalten wird. Ein Data Frame besteht aus 7 aufeinanderfolgenden Feldern:

- Beginn der Botschaft (Start Of Frame),
- Identifier (Arbitration Field),
- Die Byte-Anzahl der Botschaft (Contol Field),
- Die Botschaft selbst (Data Field),
- Ein Sicherungsfeld zur Erkennung von Übertragungsstörungen (CRC Field),
- Ein Bestätigungssignal für fehlerfreien Empfang (Ack Field),
- Ende der Botschaft (End Of Frame).

Integrierte Diagnose:

Das Bussystem CAN verfügt über eine Reihe von Kontrollmechanismen zur Störungserkennung. Dazu gehört z.B. das Sicherungssignal im „Data Frame“ und das „Monitoring“, bei dem jeder Sender seine eigene Botschaft wieder empfängt und dabei etwaige Abweichungen erkennen kann. Stellt die Station eine Abweichung fest, so sendet sie ein „Fehlerflag“, das die laufende Übertragung stoppt. Dadurch wird verhindert, dass andere Stationen eine fehlerhafte Information aufnehmen. Im Falle einer defekten Station kann es auch vorkommen, dass alle Botschaften gestoppt werden. Aus diesem Grund besitzt das CAN-Bussystem die Möglichkeit gelegentlich auftretende von anhaltenden Störungen zu unterscheiden und die Station zu lokalisieren. Dies wird durch eine statische Auswertung der Fehlersituation ermöglicht.

Standardisierung:

CAN wurde von der internationalen Normungsorganisation ISO für den Datenaustausch in KFZ standardisiert:

Für Applikationen:

- bis 125 kBit/s als ISO 11 519-2
- über 125 kBit/s als ISO 11 898

3. Untersuchungsmethoden

3.1. Krafteinleitung und Lage des Kraftmessbolzens im System

3.1.1. Reproduzierbarkeit – Abnahme der Empfindlichkeit

Die erste interessante Frage, welche sich stellte, war wie die Bolzen in die Sitzkonstruktion aufgenommen werden können. Diese Überlegungen waren notwendig, um Klarheit darüber zu erlangen, in welcher Weise die Krafteinleitung, durch die Sitzkonstruktion in den KMB erfolgen kann. Weiter ist die Konstruktion der Bolzenaufnahme verantwortlich für die auftretende Reibung. Die Analysen sollen Aufschluss geben, wo und in welcher Größenordnung die auftretenden Komponenten der Reibung sind. Untersucht wurde, ob die bestehende Aufnahme in der Lage ist, nahezu reibungsfrei zu arbeiten, oder ob die Konstruktion des Sitzunterbaus verändert werden muss. Grundsätzlich wurden zwei Arten der Krafteinleitung auf ihre Vor- und Nachteile getestet:

- Einpunktaufnahme,
- Zweipunktaufnahme.

Diese sind die in **Bild 22** dargestellt. Zu sehen ist einerseits der Schnitt durch die Aufnahme der Versuchsanordnung inklusive dem jeweiligen KMB. Für die bessere Vorstellung ist daneben der Bolzen einschließlich den auftretenden Kräften, welche in ihn eingeleitet werden und als Pfeile dargestellt sind, noch einmal dreidimensional abgebildet.

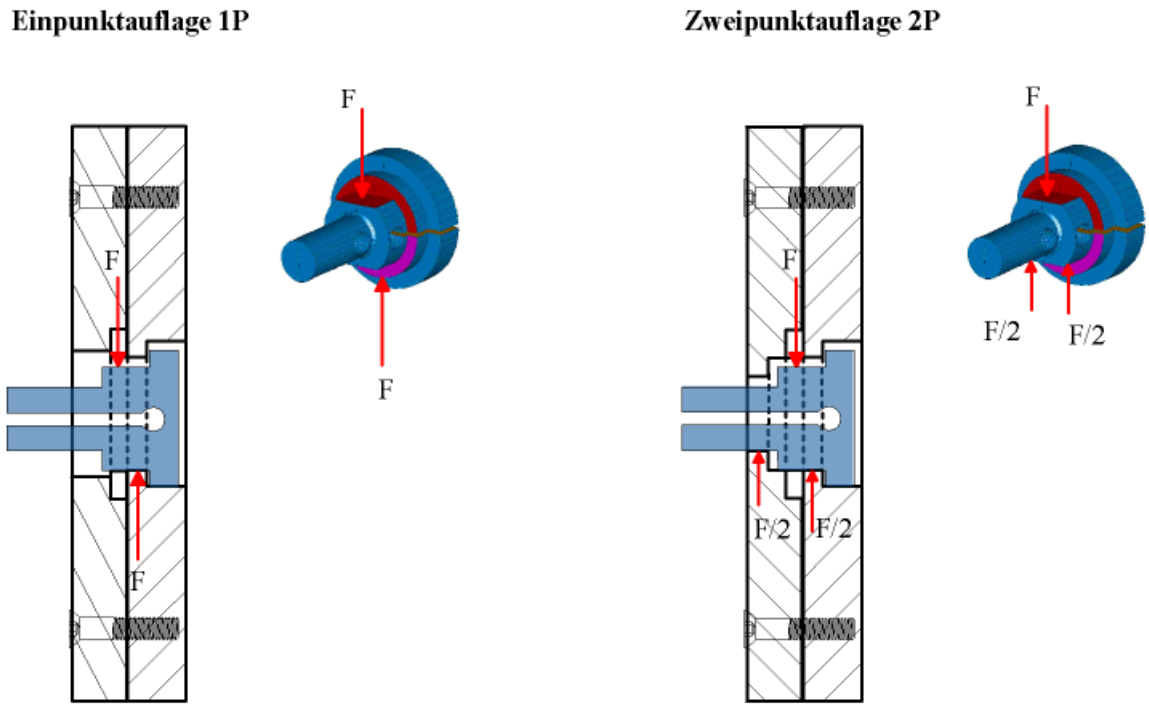


Bild 22: Prinzip der Krafteinleitung bei der Versuchsanordnung bzw. in der Sitzkonstruktion

Bei der **Einpunktauflage** erfolgt die Krafteinleitung so, dass es entgegen der Belastungsrichtung zum Abstützen des Messbolzen an der Unterseite der Sitzkonstruktion bzw. der Messanordnung kommt (im weiteren mit 1P bezeichnet). In diesem Fall gibt es nur eine Lagerstelle des KMB. Die **Zweipunktauflage** (im weiteren mit 2P bezeichnet) unterscheidet sich derart, dass es zwei Auflageflächen gibt. Im Belastungsfall kann sich der Bolzen links und rechts in gleichen Maßen abstützen. Dafür wurde der Sitzkonstruktion ein weiterer paralleler Schenkel hinzugefügt, welcher ein Verkippen des KMB verhindern soll. Vermutet wurde, dass bei der Einpunktauflage ein Verkippen des KMB und dadurch eine erhöhte Reibung und daraus resultierend eine erhöhte Hysterese auftreten könnte. Diesen Effekt versuchte man mit einer Zweipunktauflage in den Griff zu bekommen, weil durch zwei Auflageflächen ein Kippen des Bolzens unmöglich wird.
Diese Messergebnisse sind im nachstehendem Kapitel für die einzelnen KMB jeweils unter dem Punkt „**Reproduzierbarkeit**“ angeführt. Um eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu erhalten, wurde bei verschiedenen Winkelstellungen fünf mal be- und entlastet. Reproduzierbarkeit liegt dann vor, wenn sich die ermittelten Kennlinien bis auf eine geringe Abweichung decken. Wünschenswert ist, wie auch schon vorher erwähnt, ein Bolzen, der einen linearen Zusammenhang zwischen einwirkender Kraft und resultierender Dehnung zeigt. In der Realität wird sich aber eine Abweichung von dieser Geraden beim Be- und Entlasten zeigen. Eine verursachende Kraft sollte im Idealfall mit einem konstanten Skalierungsfaktor multipliziert, der gemessenen Ausgangsspannung entsprechen. Die Differenz davon wird als Linearitätsabweichung bezeichnet und gibt Aufschluss über die Genauigkeit des messenden Systems. Der Begriff der Hysterese, der im Zusammenhang mit der Bewertung des KMB wichtig ist, sei im nachstehenden genauer erklärt. Wird ein DMS belastet, dass heißt ein vollständiger Dehnungszyklus durchlaufen, so wird die Hysterese definiert als auftretende Differenz zwischen der Widerstandsänderung am aufsteigenden und abfallenden Kurvenast. Erfahrungsgemäß kann man sagen, dass die Hysterese mit der Anzahl der aufgebrachten Belastungszyklen kleiner wird. Es ist kaum möglich, die Hysterese als eine dem Dehnungsmessstreifen alleine zugeordneten Charakteristik zu definieren. Immer fließen auch andere Komponenten wie Reibung ein. Selbiges gilt natürlich auch für das Hallelement.

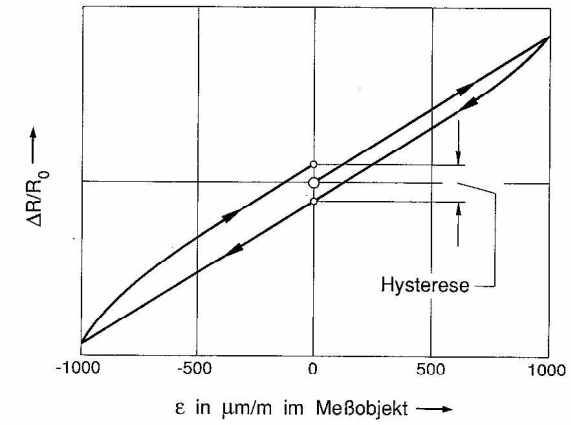


Bild 23: Hysterese

Weiter war interessant, wie sich der Kraftmessbolzen im System verhält, wenn er verdreht wird. Interessant war die Größe der Auswirkung, denn von ihr ist abhängig, ob der Sensor gegen Verdrehen gesichert werden muss oder nicht. Es wurde untersucht, wie sich die Empfindlichkeit des Sensors verändert, wenn sein Winkel zur einwirkenden Kraft verändert wird, das heißt, um seine eigene Achse gedreht wird. Wie in der Einleitung bereits erwähnt, tritt dieser Effekt bei der Sitzhöhenverstellung auf. Die Kraftmessbolzen erlauben es eine mittels DMS erfassbare Dehnung oder mittels Hallsensor erfassbare Magnetfeldänderung zu detektieren. Wirkt die Kraft nun

in einem bestimmten Winkel ein, so teilt sich diese Kraft naturgemäß in eine Horizontal- und eine Tangentialkomponente auf. Um die Vorstellung zu erleichtern, ist dieser Zusammenhang im nachstehenden Bild noch mal herausgearbeitet. Links ist ein 3D-Modell gezeigt und rechts der Schnitt durch den Bolzen.

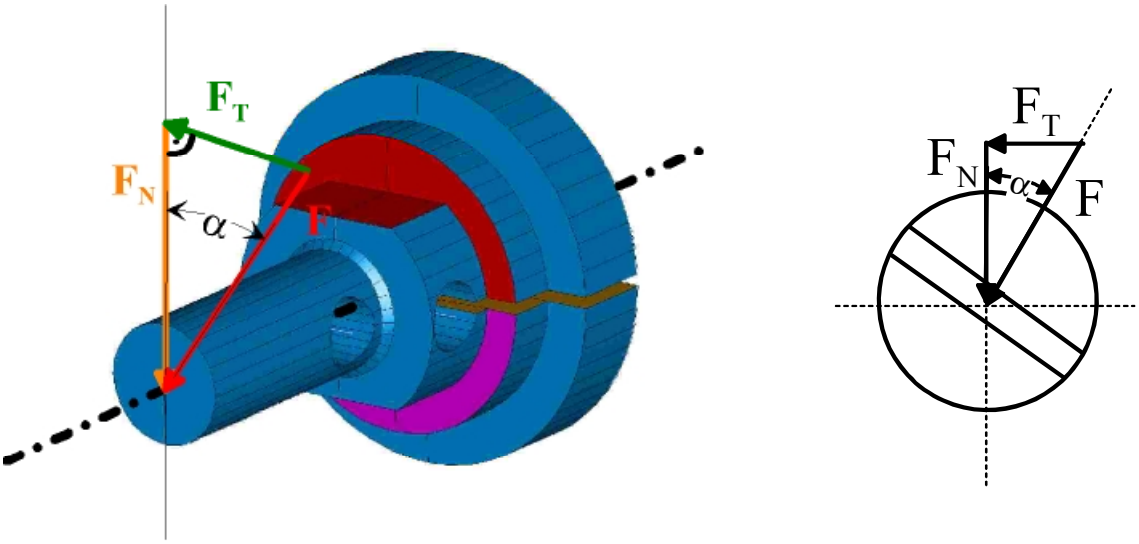


Bild 24: Komponenten der Kraft

Die Normalkraft ergibt sich durch die geometrische Natur und errechnet sich in dem die einwirkende Kraft F mit dem Kosinus des Winkels, um den der KMB verdreht wurde, multipliziert wird.

$F_N = F^* \cos\alpha$

Der zur Generierung des Messsignals dienende Anteil nimmt in jedem Fall bei einer Verdrehung ab, woraus eine Abnahme der Empfindlichkeit und somit eine Verkleinerung des Ausgangssignals resultiert. Dadurch wäre natürlich eine korrekte Gewichtsermittlung der zu schützenden Person nicht mehr gewährleistet. Wie nun die einzelnen Messbolzen reagiert haben, kann unter „**Abnahme der Empfindlichkeit**“ im nachstehenden Kapitel nachgelesen werden. Gemessen wurde das Ausgangssignal des Kraftmessbolzens als Funktion der einwirkenden Kraft für verschiedene Winkelstellung 0; 5; 10; 22,5; 45; 67,5; 80 und 85 Grad. Die maximal auftretende Amplitude wurde bei der Auswertung als 100% Empfindlichkeit definiert und die anderen Amplituden der Belastungen dazu ins Verhältnis gesetzt. Aufgetragen wurde die relative Empfindlichkeit der einzelnen Belastungsfälle anschließend über die zugehörigen Winkelstellungen. Bei einem idealen Bolzen sollte das Maximum seine Empfindlichkeit im nichtverdrehtem Einbauzustand bei 0 Grad auftreten. Die Empfindlichkeit sollte dann, sowohl für die Belastungsfälle Druck als auch Zug mit zunehmendem Winkel nach einer Kosinusfunktion abnehmen. Wie man später sehen wird, ist das aufgrund der unterschiedlichen Konstruktionen nicht immer der Fall.

3.1.2. Messaufbau

Interessant ist die Versuchsanordnung, mit welcher Klarheit über die oben geschilderten Probleme erreicht werden konnte. Sie ist im nachtstehenden Bild dargestellt.

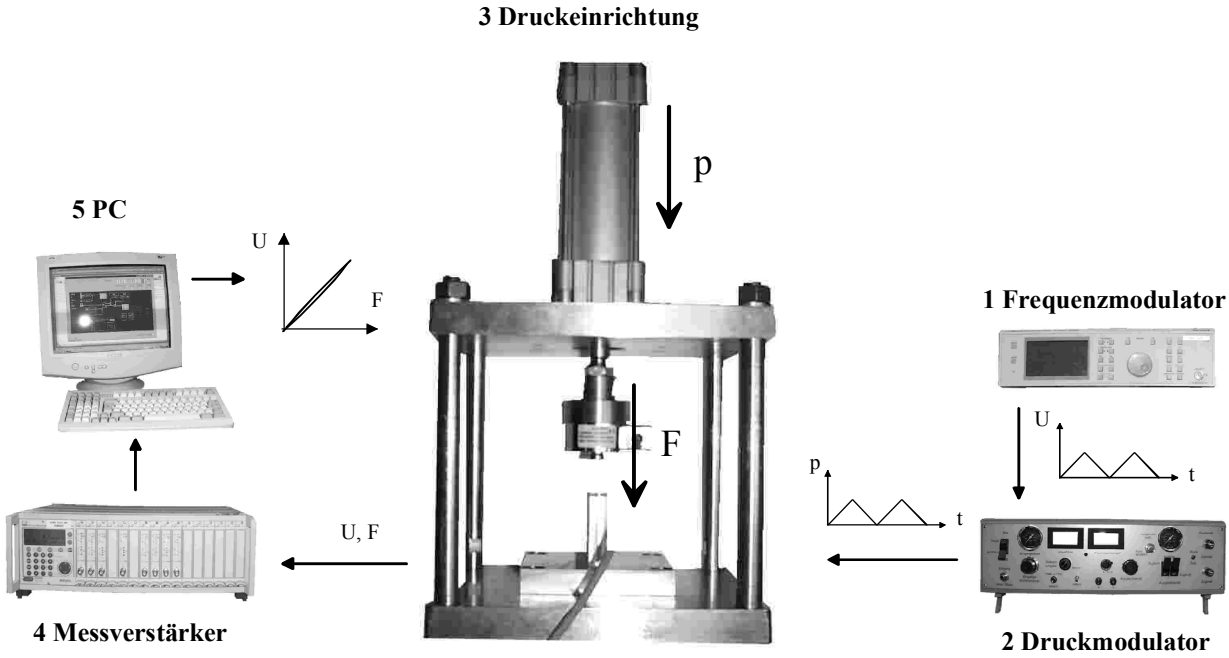


Bild 25: Messaufbau

Im Labor wurde der Belastungsfall relativ einfach nachgebildet. Die Verläufe der einzelnen mechanischen und elektrischen Größen, wie Spannung, Druck, Kraft, sind in obiger Abbildung neben den einzelnen Komponenten der Messschaltung, in denen sie auftreten oder entstehen, dargestellt.
Das Zustandekommen der Krafteinleitung erfolgte in mehreren Schritten. Ein von einem Funktionsgenerator (1) generiertes elektrisches Sägezahnsignal mit gleicher steigender und fallender Flanke diente zur Ansteuerung eines Druckmodulators (2). Die Dauer der steigenden und fallenden Flanke wurden deshalb gleich lang gewählt, um ein gleichförmiges Be- und Entlasten des KMB zu gewährleisten. Der Druckmodulator lieferte ein dem Eingangssignal proportionales Ausgangssignal im Form eines Drucks (p). Mit Hilfe der Druckeinrichtung (3) konnte dieses Signal in eine mechanische Kraft (F) umgewandelt werden. Diese auf den KMB einwirkende Kraft verformt diesen, wodurch ein Ausgangssignal, mittels dem applizierten DMS bzw. Hallelement, generiert werden konnte, das mittels Messverstärker (4) aufgezeichnet werden konnte. Es wurde der Sensor in einer der Sitzkonstruktion äquivalenten Aufnahme fixiert, die den realen Gegebenheiten nachgebildet war. Der in Eigenregie entwickelte Druckmodulator wurde von der Firma Bosch zur Verfügung gestellt. Um eine Aussage über die Kennlinie des Sensors zu erhalten, muss die auf diesen ausgeübte Kraft als Vergleichswert herangezogen werden. Dies geschah mit Hilfe eines Referenzsensor der Firma HBM.

Fehlerquellen

Natürlich soll in diese Überlegung mit einfließen, dass ein möglichst genauer Referenzsensor unerlässlich ist, da es sonst zu einer Messung der durch diesen auftretenden Fehler kommt. Verwendet wurde ein Sensor mit einer angegebenen Genauigkeit bei Raumtemperatur von ± 0,2 %. Dies entspricht einem Messfehler durch den Referenzsensors, bezogen auf den Messbereich von 500N, von ± 1N. Der Amplitudenfehler des Funktionsgenerators, bzw. der Verstärkungsfehler des Druckmodulators gehen nicht ins Messergebnis ein, da die auf den KMB einwirkende Kraft direkt mit dem Referenzsensor gemessen wird. Der Frequenzfehler des Funktionsgenerators kann deswegen vernachlässigt werden, weil es keine zeitabhängige Größe bei den Untersuchungen des Kraftmessbolzen gibt. Eine weitere Ungenauigkeit bei der Erhebung der Messergebnisse entsteht durch den Messverstärker. Die auftretenden Abweichungen der einzelnen Verstärkereinschübe sind im Anhang einzusehen. Sie sind aber hinreichend gering und können somit vernachlässigt werden. Um unbekannte Fehlereinflüsse durch Reibung zu minimieren, muss die Lagerung des KMB und die Führung für den Stößel zur Krafteinleitung nahezu reibungsfrei und damit geölt sein.

3.1.3. Verwendete Messgeräte, Einrichtungen

1	Funktionsgenerator:	Fluke & Philips PM 5139 0,1 mHz – 20 MHz Sr.Nr.: 915615
2	Druckmodulator:	Eigenkonstruktion Nr.: M 5869
3	Druckeinrichtung:	Bosch Sr. Nr.: 0 822 243 402 10 bar
+	Referenzsensor	Wägezelle – Load Cell Hottinger Baldwin Messtechnik 2 mV/V 500N
4	Messverstärker:	HBM MGC-Plus
5	PC:	Windows NT 4.0

3.1.4. Diverse Einstellungen an den Messgeräten

3.1.4.1. Messwertaufnahme mittels Messverstärker und Software MGC Beam

Gewonnen wurden die neuen Erkenntnisse mit Hilfe eines Messverstärker der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik, Modell MGC-Plus und der zugehörenden Software MGC Beam, welche die Möglichkeit bietet, die ermittelten Datensätze in Form einer Excel-Tabelle für die weitere Bearbeitung abzuspeichern. Der Messverstärker kann verschiedene Einschübe zum Messen diverser elektrischer Größen aufzunehmen. Da der KMB mit einem DMS und einem Hallsensor geprüft wurde, waren folgende Einschübe zu verwenden.

- ML10: für DMS Messung in Halb-/ Vollbrücke
- ML30: für DMS Messung in Vollbrücke
- ML01: für HALL Messung von Spannung oder Thermoelement

Um die Daten in speicherbarer Form, z.B. eines Excel-Files nach der Messung vorliegen zu haben, ist es wesentlich eine Verbindung zwischen dem Computer und dem Messverstärker herzustellen. Dies gelingt, in dem die nachfolgenden beschriebenen Konfigurationen durchgeführt werden. Die erwähnten Bilder befinden sich im Anhang.
Nach dem Aufruf der Software öffnet sich das **Startfenster (Bild 83 Schnittstellenauswahl)**, welches die Auswahl des Betriebsmodus und der Schnittstelle erlaubt. Gewählt wurde die Betriebsart als Messgerät im Onlinebetrieb, und eingelesen wurden die Daten über die parallele Schnittstelle (LPT1). Prinzipiell ist es auch möglich, jede andere Verbindung zu verwenden, nur sollte dann ein geeignetes Kabel zur Verfügung stehen. Im Menüpunkt „Messen“ können mit Hilfe des Dialogfensters (**Geräteeinstellung Bild 84)** die Einschubkarten angezeigt werden. Vor der weiteren Konfiguration sollten die Karten anzeigt werden da genaue Angaben über die einzelnen Karten gemacht werden. Außerdem werden diese nur angezeigt, wenn diese auch vorhanden und richtig verbunden sind. Unter **(Kanaleinstellungen Bild 85)** ist es möglich, die verwendeten Sensoren den einzelnen Kanälen zuzuweisen. Wie aus dem Bild ersichtlich, wurden vier Sensoren verwendet, nämlich der C2 in DMS-Vollbrücke als Vergleichssensor, der KSY14 von Infineon, der MLX 90251 von Melexis als am KMB appliziertes Hallelement bzw. der 1-CX91-1,5/120 von HBM. Weiter sollen nicht verwendete Kanäle nach Möglichkeit deaktiviert werden, um störende Einflüsse bei der Messung zu vermeiden. Als weiterer Schritt der Konfiguration erfolgte die **Aufnehmeranpassung (Bild 86),** bei welcher der Zusammenhang zwischen angezeigtem und gemessenen Wert, d.h. die Skalierung, festgelegt werden konnte. Die Messzeit wurde mittels des Dialogfensters „Einstellen periodischer Messungen“ gewählt. Erlaubt war es, den Start und das Ende der Datenaufnahme einzustellen und die Anzahl der Abtastwerte pro Sekunde. Gewählt wurde je nach Bedarf eine Messdauer zwischen 1 und 5 Minuten. Um nun das Messergebnis auch graphisch darzustellen, wurde ein wie in **Bild 26** dargestelltes Messfenster kreiert. Es handelt sich dabei um eine Echtzeitgraphik, in die ein x-y-Graph, ein Analoginstrument und ein Digitalinstrument integriert wurden.

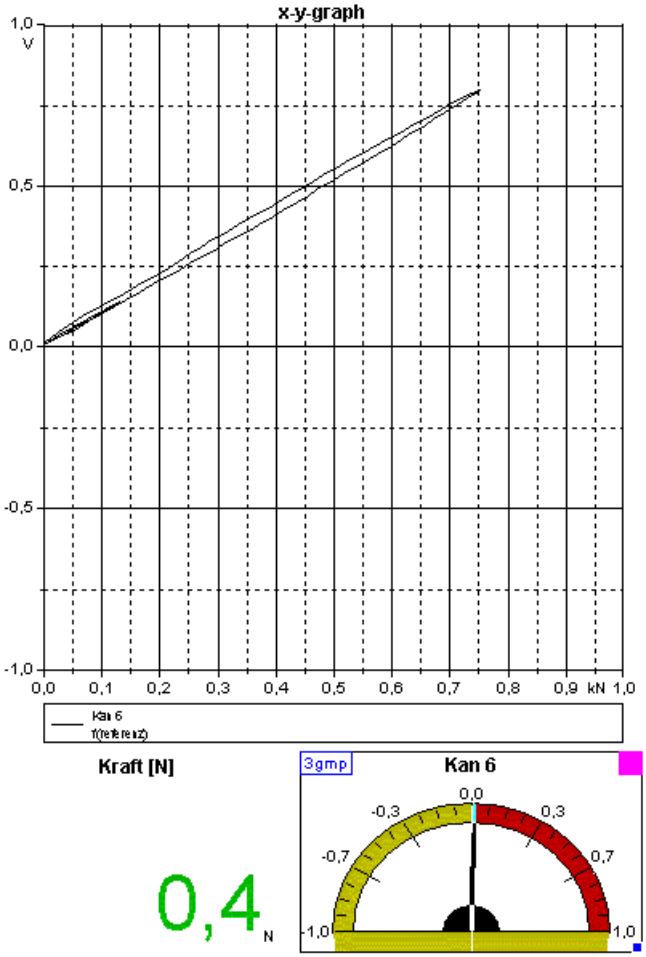


Bild 26: Messfenster

Zu sehen ist die nach der Messung ermittelte Kennlinie des zu untersuchenden Sensors, in x/y-Darstellung. Auf der x-Achse ist die verursachende Kraft in Newton [N] und auf der y-Achse die Reaktion des KMB darauf in Volt [V] aufgetragen. Darunter sind die aktuellen Werte während der Messung eingeblendet. Links der Referenzsensor C2 mit einem Maximalwert von 500N und rechts, als Analoginstrument dargestellt, die Ausgangsspannung des Hallelements in Volt. Dies sollte während der Messung eine Erleichterung darstellen, da immer beobachtet werden konnte, ob die Reaktion des Sensors die gleiche Tendenz aufweist wie die erregende Kraft und Anzeigen vom Menschen besser interpretierbar sind als Werte in Tabellenform.

Um den Datenfluss nachvollziehen zu können, bot die verwendete Software die Möglichkeit diesen, wie im nachfolgenden Bild, zu visualisieren. Abgebildet ist oben der Messverstärker von HBM mit seinen Einschubkarten. Durch Auswählen der gewünschten Messkanäle konnte ihr Informationsfluss gezeigt werden. Weiter bot sich die Möglichkeit eines Nullabgleichs für die ausgewählten Kanäle.

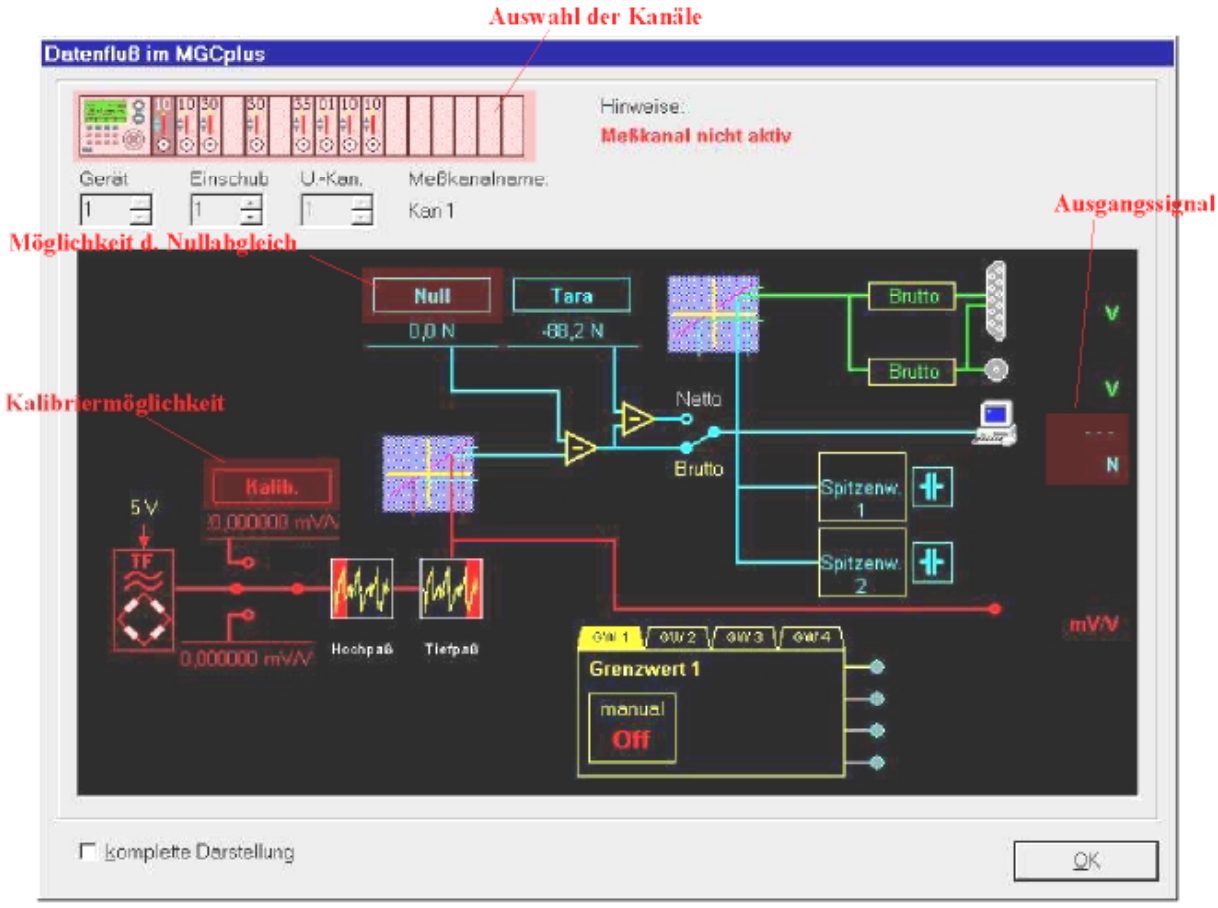


Bild 27: Datenfluss im MGC-Beam

3.1.4.2. Funktionsgenerator:

Frequenz: Am Funktionsgenerator wurde die Frequenz des Be- und Entlastungszyklus den Bedingungen angepasst. So wurde nach Befestigung des Bolzens, um ihn in die entsprechende Lage zu bringen, mehrmals bei einer Frequenz von 0,1 Hz belastet. Für die Messungen wurde eine um den Faktor 10 kleinere (0,01 Hz) verwendet.

Amplitude: Die Amplitude des Funktionsgenerators wurde als eine auf den KMB einwirkende Kraft interpretiert und konnte je nach gewünschtem Belastungsfall Werte zwischen AC_{pp}=0 und maximal AC_{pp}=10 Volt annehmen. Dies entsprach einer Belastung zwischen 0 und 1100N. Im Regelfall wurde mit ca. 500N belastet. Nur für die Fälle, um den Überlastschutz des Bolzens zu überprüfen, wurde je nach Typ auch eine größere Spannung eingestellt.

Sonstige Einstellungen:

f_{mod}: 0,025 Hz
Einfachsägezahnimpuls mit gleicher Anstiegs und Fallzeit
Burst
Int

3.2. Einflusses der Sitzkonstruktion auf den KMB

3.2.1. Einfluss der Sitzhöhenverstellung

Aus den vorausgegangenen Untersuchungen konnten prinzipielle Erkenntnisse über den KMB ohne Umgebungseinfluss, wie die Abnahme der Empfindlichkeit und seine Linearitätsabweichung, gewonnen werden. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, wie sich der KMB in der verwendeten Sitzkonstruktion verhält. Ziel dieses Versuches war es, herauszufinden, wie die Sitzkonstruktion und somit die Höhenverstellung des Fahrer- und Beifahrersitzes, die integrierten Sensoren beeinflußt. Wünschenswert ist es, dass der KMB für alle möglichen Einstellungen des Sitzes und bei allen Belastungsfällen das Gewicht stets hinreichend genau ermittelt. Die Abweichungen von diesem Ideal und ihre Ursprünge sollen im folgenden herausgearbeitet werden. Diese Untersuchungen sind deshalb unerlässlich, weil der KMB bei der Sitzhöhenverstellung dahingehend beeinflusst wird, dass er um ca. 10 Grad verdreht wird, und es daher zur Abnahme seiner Empfindlichkeit kommt. Dieser Einfluss durch das Verdrehung des Bolzens ist relativ klein, wie aus den vorrausgegangenen Untersuchungen hervorgeht. Die Abnahme der Empfindlichkeit bis ca. 10 Grad Verdrehung bei Zweipunktauflage beträgt nur ca. 3%. Eine wesentlich größere Auswirkung auf die Messgenauigkeit werden die zusätzlich auftretende Reibung und die Kraftnebenschlüsse in der Sitzkonstruktion verursachen. So tritt Reibung sowohl zwischen den bewegten Stanzteilen der Sitzkonstruktion, als auch zwischen dem Sensor und diesen auf. Diese Einflüsse verhindern eine genaue Ermittlung des Gesamtgewichtes und sollten daher so klein wie möglich gehalten werden. Sie bilden einen Teil der Grauzone (Grayzone), welche in der Einleitung erwähnt wurde.

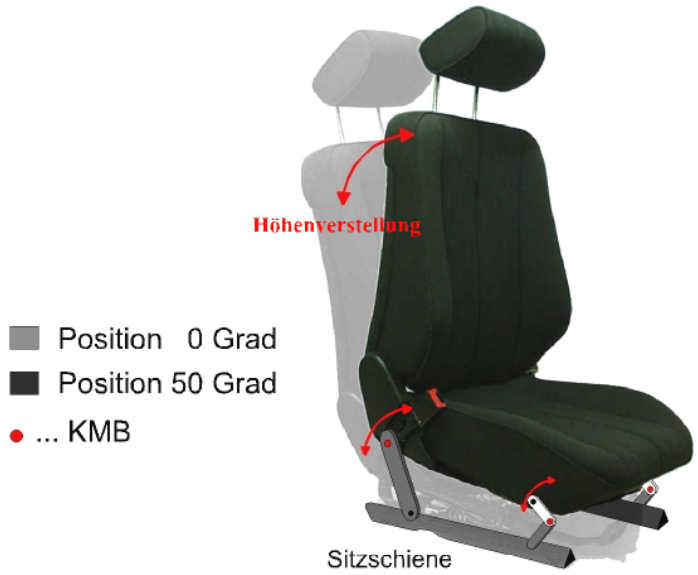


Bild 28: Prinzip der Sitzhöhenverstellung

In **Bild 28** sind die Bewegungen bei der Sitzhöhenverstellung dargestellt. Die Sitzhöhenverstellung erfolgt elektrisch mit Hilfe eines Motors. Dieser greift an den hinteren unteren Schenkeln des Systems an und verdreht sie je nach gewünschter Sitzhöhe. Die angetriebenen Schenkel können so Positionen zwischen 0 Grad (tiefste Position des Sitzes) und 50 Grad (höchste Position) einnehmen. Dadurch hebt sich der hintere Teil des Sitzes und aufgrund der Konstruktion folgt der vordere Teil dieser Höhenbewegung. Wie auch aus **Bild 28** hervorgeht, erfolgt die Höhenverstellung hinten stärker als vorne. Der KMB ist gegen unbeabsichtigtes

Verdrehen gesichert. Für die Aufnahme der Messdaten wurde der Schenkel der Höhenverstellung in Fünfgradschritten von 0 bis 50 Grad verdreht. Der Sitz wurde mit 10, 20, 30, 40 und 50kg schweren Sandsäcken belastet. Dies diente der Nachbildung eines Fahrgastes. Es wurden die Messungen einmal mit und ohne Teflonscheiben durchgeführt. Vermutet wurde, dass die Teflonscheiben Kraftnebenschlüsse minimieren könnten. Die Teflonscheiben wurden zwischen den sich verdrehenden Schenkeln der Sitzhöhenverstellung eingebracht, um diese auf Distanz zu halten, so dass nicht Metall auf Metall reiben konnte. Da aber Teflonmaterial fließt, ist ein Einsatz in der späteren Produktion nicht erlaubt, wohl aber zum Überprüfen der vermuteten Probleme. Dargestellt ist in **Bild 29** die Stelle, an der die Teflonscheiben eingebracht wurden.

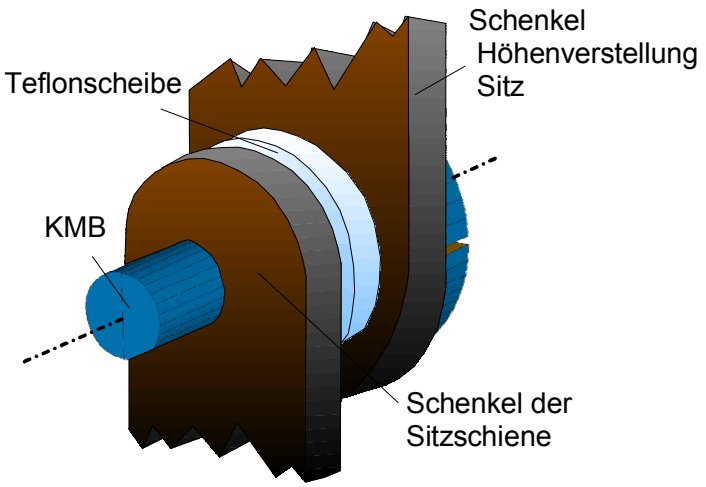


Bild 29: Einbauplatz der Teflonscheiben

3.2.2. Einfluss der Haftreibung auf den KMB

Untersucht wurde, wie sich eine unter einem bestimmten Winkel erfolgende Krafteinleitung auf die Hysterese des KMB auswirkt. Vermutet wurde, dass es zum Anhaften des Bolzens der Version 2.0 kommen könnte. Dieser Sachverhalt ist in der untenstehenden Skizze genauer dargestellt. Wird die Kraft unter einem bestimmten Winkel eingeleitet, so kommt es aufgrund des vorhandenen Spiels zu einem seitlichen Versatz des Sensors und dadurch zu einem seitlichen Anhaften bzw. Verhacken an der im roten Kreis hervorgehobenen Problemstelle. Die in **Bild 30** verbildlichte Reaktion hat zur Folge, dass es nach dem Entlasten des KMB nicht sofort zu einem Lösen dieses von der Aufnahme kommt, sondern erst verzögert (bei weiterem Entlasten). Dieser vermutete Effekt, der sich wiederum als eine Verbreiterung der Hysterese auswirken könnte, soll nun im weiteren untersucht werden.

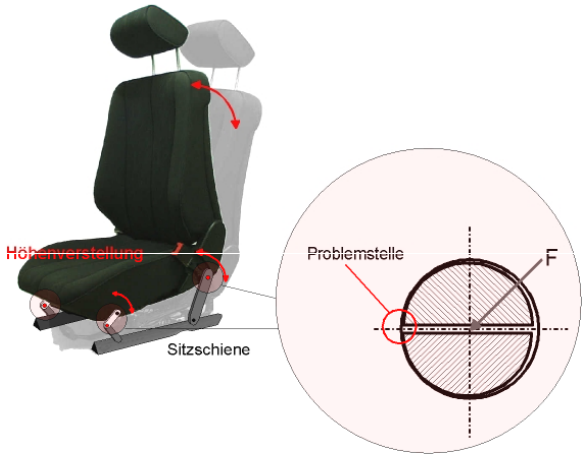


Bild 30: Problemstelle in der Sitzkonstruktion

3.2.3. Messaufbau

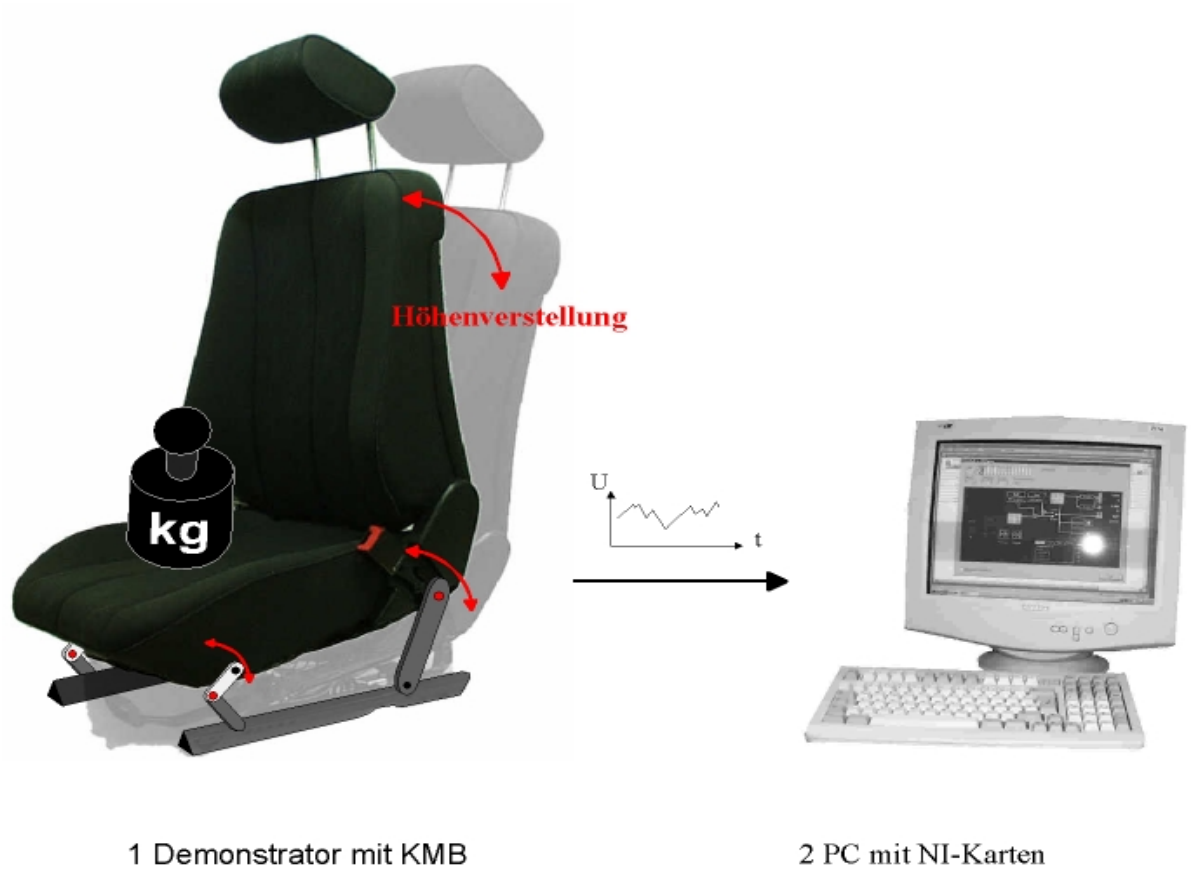


Bild 31: Messaufbau: Labor - KFZ

3.2.4. Messgeräte, Einrichtungen

1	Sitz mit KMB	
2	Notebook/ PC	Windows NT 4.0
3	8 Kanal Analogkarte	NI SC-2043-SG
4	Analog-Digital-Karte	NI DAQ- 1200

3.2.5. MAX Measurement and Automation Tool

Die Datenerhebung erfolgte mit Analogkarte **SC-2043-SG** der Firma National Instruments, welche die Ausgangspannungen der DMS mit dem Faktor zehn für die Analog-Digital-Karte **DAQ-1200** verstärkte. Bei der DAQ-1200 handelt es sich um eine Analog-Digital-Wandler-Karte, die wie schon der Name besagt, eine analoge Ausgangsspannung in eine entsprechende digitale Größe umwandelt. Es wurde ein Nullabgleich in der Ruhestellung und ohne Belastung mittels Potentiometer der Analogkarte bzw. Messsoftware durchgeführt, um Offsetfehler durch den Einbau, Temperatur, Feuchte usw. zu kompensieren. Später wurde auf die SC-2043-SG verzichtet, und es wurde eine eigene Karte gefertigt, welche die Spannung direkt für die DAQ-1200 aufbereiten konnte.
Die Daten wurden dann in Lab View mittels einem VI (Virtuellem Instrument) dargestellt. Lab View ist eine revolutionäre Möglichkeit, welche zur Lösung technischer Problemstellungen eingesetzt werden kann. Das implizit parallele und modulare Entwicklungssystem mit seinem grafischen Compiler besticht durch seine hohe Ausführungsgeschwindigkeit und seinen sehr geringen Programmentwicklungsaufwand. Eine Vielzahl umfangreicher Bibliotheken ermöglichen Rapid Prototyping, sowie elegante und leistungsfähige Applikationen. Von einem virtuellen Instrument spricht man, wenn aus einem Standard-Personalcomputer durch geeignete Software im Zusammenspiel mit entsprechender Mess-Hardware auf die Aufgabe zugeschnittene Messsysteme geschaffen werden, die sonst nur einem ausgerichtetem Stand-Alone-Messgerät vorbehalten sind. VI stellen eine Visualisierung und Zentralisierung komplexer Messsysteme auf einem Standard-PC in Form einer virtuellen Bedienoberfläche dar.
Um eine Aufnahme der Daten mittels VI zu ermöglichen, mussten zuerst im Konfigurationstool Max einige Einstellungen vorgenommen werden. Voraussetzung dafür war die erfolgreiche Installation der Analog-Digital-Karte DAQ 1200. Im Menü *Datenumgebung* wurden die acht Kanäle (0 bis 7) der Karte definiert und dann im **Analog-Input-Konfigurationsfenster (Bild 89)** eingerichtet, wobei die Kanäle 0 bis 3 durch die DMS und 4 bis 7 durch die Hallsensoren belegt wurden. Um die Attribute der einzelnen Kanäle festzulegen mussten die weiß unterlegten Bereiche, wie Name, Unit, Range, Sensor, Scaling Formula, Device und Channel konfiguriert werden. Die Skalierung des DMS konnte im **Custom-Scale-Configuration (Bild 90)** eingestellt werden. Hilfreich war der Wizard von der Firma NI (National Instruments). Damit besteht die Möglichkeit, die Einstellungen zu testen und das eingehende Signal auf dem Monitor darzustellen. Dies konnte durchgeführt werden, indem der darzustellende Kanal (z.B. DMS rv0) ausgewählt und durch anschließendes Drücken der Schaltfläche Test im **Konfigurationsfenster** von MAX **(Bild 88),** aktivieren wurde. Siehe im Anhang auch **Testfenster (Bild 91).**

LAB VIEW - FRONTPANEL

Zur Aufzeichnung der Daten wurde ein VI in Lab View kreiert, das diese mit Hilfe des **Functionpanel (Bild 92)** aufbereitet, in einer TXT-Datei ablegt und im Frontpanel graphisch darstellt. Das Frontpanel mit seinen wichtigsten Elementen ist in **Bild 32** dargestellt.

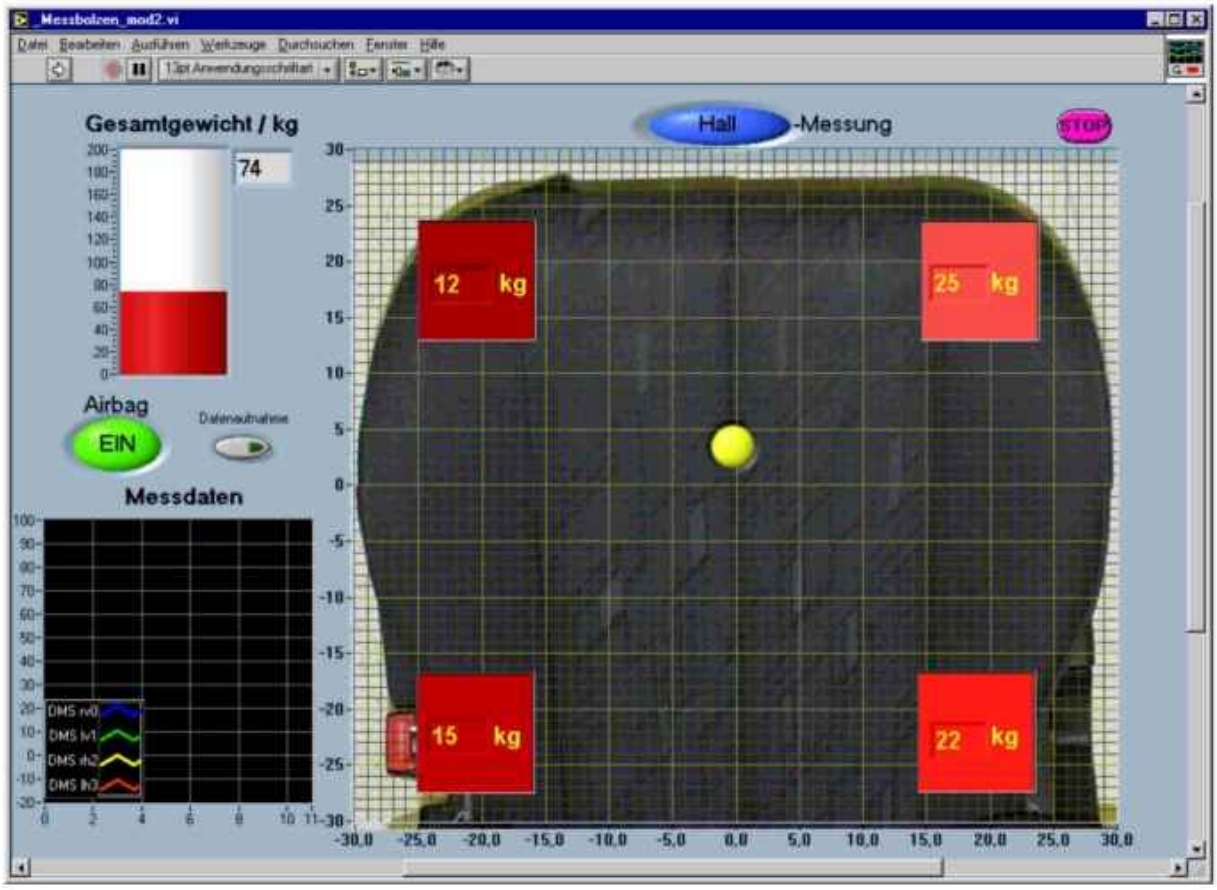


Bild 32: Frontpanel

Auf dem Frontpanel ist das *Gesamtgewicht* in kg ersichtlich, wobei bei einer Überschreitung der Schwelle von 37 kg das Anzeigeelement *Airbag* auf „Aus“ umschaltet und die Farbe des Balkens von rot auf grün wechselt. Die Taste – *Messung* dient zur Umschaltung zwischen den Betriebsarten mit Hall oder DMS. Gestartet wurde das VI mit der *Pfeiltaste* oben links und gestoppt mit der *Stopptaste* daneben bzw. rechts oben. Durch das Drücken der Taste *Datenaufnahme* konnten die Messwerte für die diversen Belastungsfälle in eine TXT-Datei geschrieben werden. Die vier roten Felder indizieren das ermittelte Gewicht der einzelnen Sensoren und geben dieses farblich codiert von schwarz bis weiß wieder. Der *gelbe Punkt* in der Mitte repräsentiert die Lage des Schwerpunktes. Im Feld Messdaten links unten konnte der zeitliche Verlauf der einzelnen Signale verfolgt werden.
Aufgenommen wurden die Daten, in dem der Sitz mit den diversen Gewichten belastet wurde und mittels der Taste Datenaufnahme im Frontpanel die Daten für ein beliebige Zeit aufgenommen werden konnten. Diese Werte wurden dann in der

Excel-Tabelle gemittelt, um etwaige Unregelmäßigkeiten zu reduzieren. Gemessen wurde zuerst immer in der Lage α=0 Grad und ohne Gewicht. Diese Messung diente zur Ermittlung der Nullpunktverschiebung der Sensoren. Dann wurden schrittweise die Messpunkte für die einzelnen Winkelstellungen und die einzelnen Gewichte ermittelt.

3.3. Dynamische Messungen

3.3.1. Versuchsbeschreibung

Ziel dieses Versuches ist es, herauszufinden, wie sich der KMB in Kombination mit der Sitzkonstruktion während des Einsatzes im Kraftfahrzeug verhält. Untersucht wurden die verschiedenen Fahrsituationen, wie Beschleunigen, Bremsen, und Befahren diverser Straßenbelägen, wie Landstrasse, Autobahn, Waldweg und Schlechtwegestrecke (mit Platten ausgekleideter Weg, ähnlich grobem Kopfsteinpflaster).
Dafür wurde der mit vier KMB ausgestattete Sitz in ein KFZ auf der Beifahrerseite eingebaut. Die Aufzeichnung der Ausgangsspannung der einzelnen Sensoren wurde wieder wie oben in „Einfluss der Sitzhöhenverstellung auf den KMB“ durchgeführt. D.h. es wurden die Signale der in den KMB enthaltenen Dehnungsmessstreifen mit einer Analogkarte verstärkt und mittels Analog-Digital-Konverterkarte DAQ 1200 für den PCMCIA Slot in ein digitales Signal umgewandelt. Diese nun binäre Information wurde in einer Textdatei abgelegt, um eine Weiterverarbeitung mit EXCEL oder MATHCAD zu ermöglichen. Zur Datenaufzeichnung wurde ein Notebook verwendet, der im Auto auf der Mittelkonsole montiert wurde. Analysiert wurde der zeitliche Verlauf der einzelnen Sensoren, um später daraus das für die Ansteuerung des Airbags erforderliche Gesamtgewicht zu ermitteln. Dafür musste das VI dermaßen umgestaltet werden, dass es die Ausgangsspannung der DMS in genügend kleinen Intervallen ausgeben konnte. Es wurde eine Intervalllänge von 10 Millisekunden gewählt, um im weiteren eine hinlängliche Frequenzanalyse durchführen zu können. Vor Beginn der Testfahrt wurde der Nullpunkt abgeglichen, um diverse Offsetfehler zu eliminieren und der Anschnallvorgang wurde dokumentiert, um feststellen zu können, ob bzw. wie ein Zug am Gurtschloss das Gesamtgewicht beeinflussen kann. Dargestellt wurden bei der Auswertung dann der zeitliche Verlauf der einzelnen Signale und das Gesamtgewicht. Dies soll im späteren den Unterschied in der Variation der Amplitude der Ausgangssignals bei verschiedenen Straßenbelägen verdeutlichen. Da sich die Sitzkonstruktion mitsamt den aufgelegten Gewichten wie ein Feder-Masse-System verhält, wurde im weiteren eine Frequenzanalyse mit dem Programm MATHCAD durchgeführt. Es wurden die Daten aus dem Zeitbereich mittels einer FFT (Fast Fourier Transformation) im Frequenzbereich dargestellt. Daraus soll dann die Eigenfrequenz des Systems ermittelt werden. Da sich mit variierendem Gewicht auch die Eigenfrequenz des Systems ändert, wurden Versuche unternommen, um abzuklären, ob mittels Frequenzanalyse auch das Gewicht gemessen werden kann.

3.3.2. Messaufbau

Wie in 3.2.3 beschrieben. Die Messschaltung wurde im Auto verwendet.

4. Messergebnisse

4.1. KMB der Version 1.0

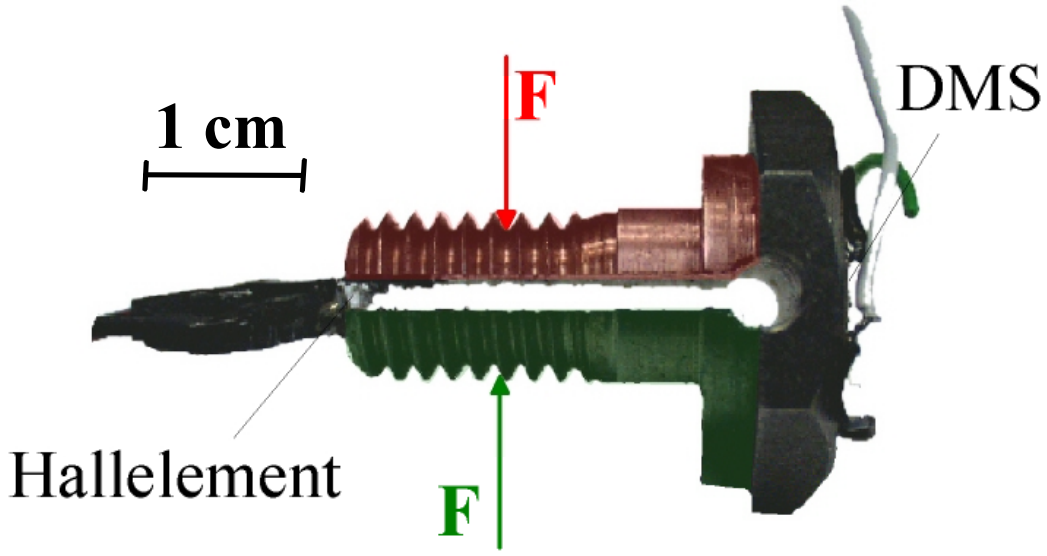


Bild 33: KMB, Version 1.0, unidirektional

Im **Bild 33** ist der Sensor der Version 1.0 dargestellt. Das unidirektionale Funktionsprinzip ist relativ trivial, es handelt sich um eine Schraube die in der Mitte geschlitzt ist. Diese Konstruktion erlaubt einen hinreichenden Überlastschutz im Crashfall. Im Kopfbereich ist ein DMS aufgeklebt bzw. an der anderen Seite der Schraube ein Hallelement und gegenüberliegend ein Magnet angebracht. Verbaut wurde der DMS von HBM Typ 1-XY91-1,5/120 und der Hallsensor KSY 14 von Infineon. Wird nun das Teil mit, wie im Bild dargestellten Kräften belastet, dann nähern sich die rot bzw. grün hervorgehobenen Schenkel einander. Dies führt zu einer messbaren Dehnung im Kopfbereich bzw. zu einer Änderung der Feldstärke im Hallelement, und damit einer Generierung eines Ausgangsignals.

Fazit:

Bei der Version 1.0, die vor Beginn meiner Arbeit bei Bosch konstruiert, gefertigt, bestückt und vermessen wurde, zeigte sich der Nachteil, dass es durch das Fixieren des Bolzens mittels Sicherungsschraube zu einer Beeinflussung der Ausgangsspannung und somit des Messergebnisses kommt. Erklärbar ist dies durch die Konstruktion des KMB. Wird nun die Sicherungsmutter aufgebracht, so drückt diese die beiden Schenkel zusammen. Durch diese Bewegung nähert sich der Magnet dem Hallsensor und somit entsteht ein unerwünschter Offset der Hallspannung, bzw. kommt es zur Entstehung einer mechanischen Spannung im Kopfbereich die wiederum als Widerstandsänderung des DMS mit einer Wheatstone´schen Brücke abgegriffen werden kann. Ansonsten zeigte der Sensor eine relativ gute Linearität. Die Vorteile dieses Bolzens liegen in der Kompaktheit, die keine Veränderung der Sitzkonstruktion erfordert. Weiter ist das Bauteil relativ einfach zu fertigen. Denkbar wäre, dass in der Endproduktion der Messkörper kaltgepresst werden könnte.

4.2. Der Kraftmessbolzen Version 2.0

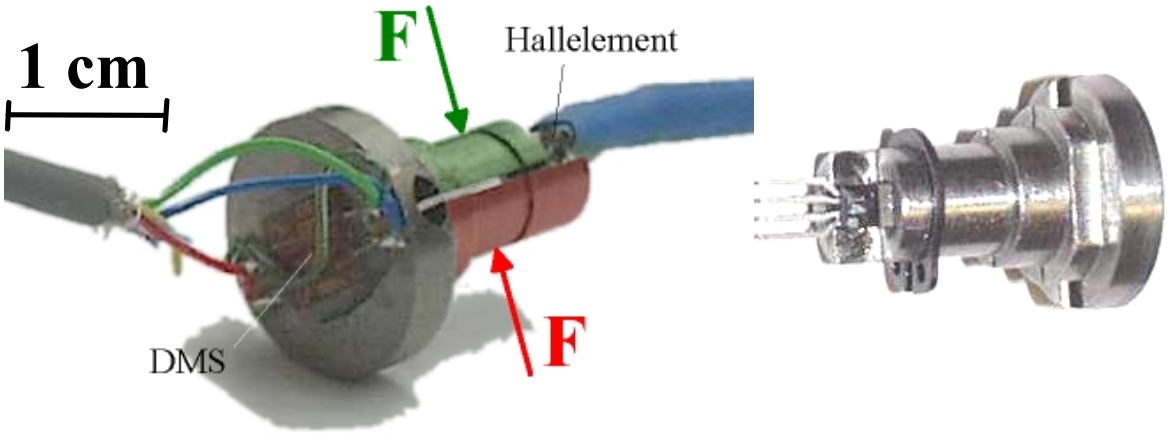


Bild 34: Sensor der Version 2.0, unidirektional

In der **Bild 34** ist der Sensor der Version 2.0 erkennbar. Er bietet die Möglichkeit sowohl mit einem Hallelement als auch einem DMS zu arbeiten. So ist der DMS im Kopfbereich befestigt und der Hallsensor samt Magnet an der gegenüberliegenden Seite. Die mechanische Konstruktion ist wieder ähnlich der Version 1.0, gleich einem geschlitzten Bolzen. Damit ergibt sich wieder ein hervorragender Überlastschutz. Eine Stärke dieser Variante ist die relativ einfache Fertigung. Es handelt sich dabei um einen Drehteil, der gesägt werden muss und eine Bohrung aufweist. Damit ergeben sich in Herstellung geringe Kosten. Ein großer Vorteil dieses Sensors ergibt sich ebenfalls durch seine Kompaktheit, da er von den Abmessungen genau der entfernten Schraube entspricht, es somit zu keiner Änderung der vorhandenen Sitzkonstruktion kommen muss. Beim Kraftmessbolzen der Version 2.0 wurde der gravierende Nachteil der ungeeigneten Befestigung gegenüber Version 1.0 behoben. Diesen Effekt versuchte man bei dieser Version durch einen Sicherungsring zu beheben. So sitzt dieser relativ locker in seiner Nut und bewirkt kein Zusammendrücken der beiden Schenkel der Schraube. Leider trat dadurch ein weiteres unerwartetes Problem auf, nämlich dass der Segerring nicht in der Lage war seitliche Kräfte, wie sie etwa in Kurvenfahrten auftreten, aufzunehmen. Da es bei der Höhenverstellung des Sitzes zu einem Verspannen der Konstruktion kam, äußerte sich diese Manko immer wieder, in dem sich die Sicherung löste. Dieser Mangel wurde anschließend in der Version 3.0 behoben, bei der man den KMB verschraubte. Der Sensor der Version 2.0 hat den gravierenden Nachteil, dass er nur eine unidirektionale Messung erlaubt. Um die Fälle eines Fehlgebrauchs (Miss Use) in den Griff zu bekommen, wurde aber in den späteren Versionen die Möglichkeit berücksichtigt bidirektional zu messen. Wie die folgenden Messergebnisse zeigen werden, ist auch die auftretende Hysterese des Bolzens zu groß. Dieser Bolzen bot die Möglichkeit in einer 1-Punktauflage bzw. 2-Punktauflage verbaut zu werden.

4.2.1. Reproduzierbarkeit

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen sowohl für 1-Punkt- als auch 2-Punktauflage wiedergegeben.

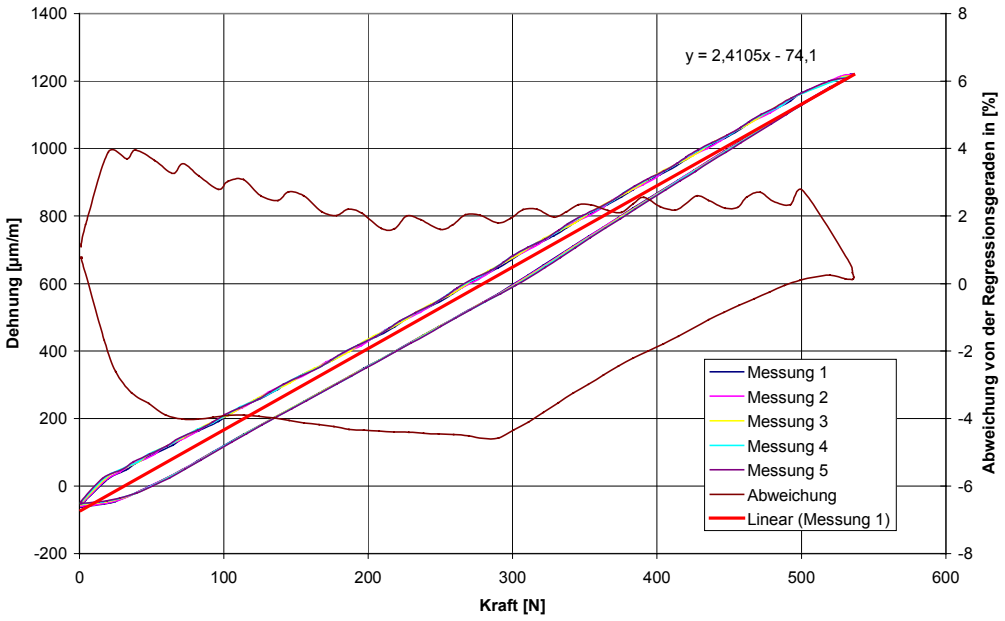


Bild 35: Kennlinie KMB 2.0
Reproduzierbarkeit der Kennlinie und Abweichung bei α=0 Grad für 1P-Auflage.

In **Bild 35** ist die Reproduzierbarkeit der Kennlinie für fünf Einzelmessungen (fünfmaliges Be- und Entlasten des Gewichtssensors) für die Winkelstellung 0 Grad und Einpunktauflage dargestellt. Ergänzt wurde die Regressionsgerade (rot) mit ihrer zugehörigen Geradengleichung. Die Abweichung von der Regressionsgeraden ist auf der Sekundärachse aufgetragen. Sie gibt die prozentuelle Differenz zwischen dem idealen, wünschenswerten Sensor und dem realen wieder. Die minimale bzw. maximale Abweichung von der Regressionsgeraden, die auf den Messbereich von 500N bezogen wurde, beträgt hier für 0 Grad und Einpunktauflage maximal:

L = + 3,95% .. –4,59%

Die Kennlinie soll zeigen, dass die Messergebnisse für die Winkelstellungen α bis ca. 80 Grad relativ gut reproduzierbar sind, weil diese sich beinahe decken. Bei größeren Winkel (vgl. **Bild 36**) liegen die Kurven wesentlich gestreuter, was zum Ausdruck bringt, dass hier die Messergebnisse nicht mehr reproduzierbar sind.

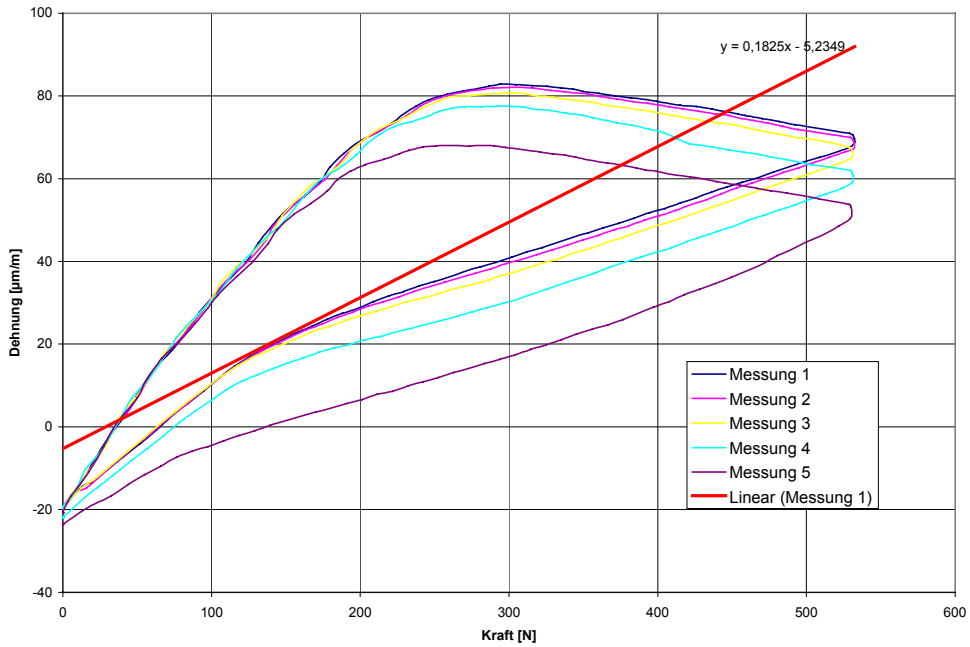


Bild 36: Kennlinie KMB 2.0
Reproduzierbarkeit der Kennlinie bei α=85 Grad für 2P-Auflage

Wie aus den Kennlinien erkennbar, ist eine Reproduzierbarkeit der Messergebnisse für Winkel größer 80 Grad nicht mehr gegeben. Da für den KMB bei der Sitzverstellung aber nur wesentlich kleinere Winkeländerungen erlaubt sind, kann man im weiteren Verlauf der Datenauswertung auf eine Mittelung der 5 Messreihen für die weiteren Schlussfolgerungen verzichten und immer nur die Werte der Messung 1 heranziehen.

Die Linearitätsabweichung berechnet sich wie folgt:

$$L = \frac{(Istwert - Sollwert) \cdot 100\%}{f(MB)} \qquad (1)$$

Istwert: gemessener Wert

Sollwert: Wert der Regressionsgeraden

f(MB): zugehöriger y-Wert bezogen auf den Messbereich von 500N (**Bild 36** : y= 0,1825*500-5,2349)

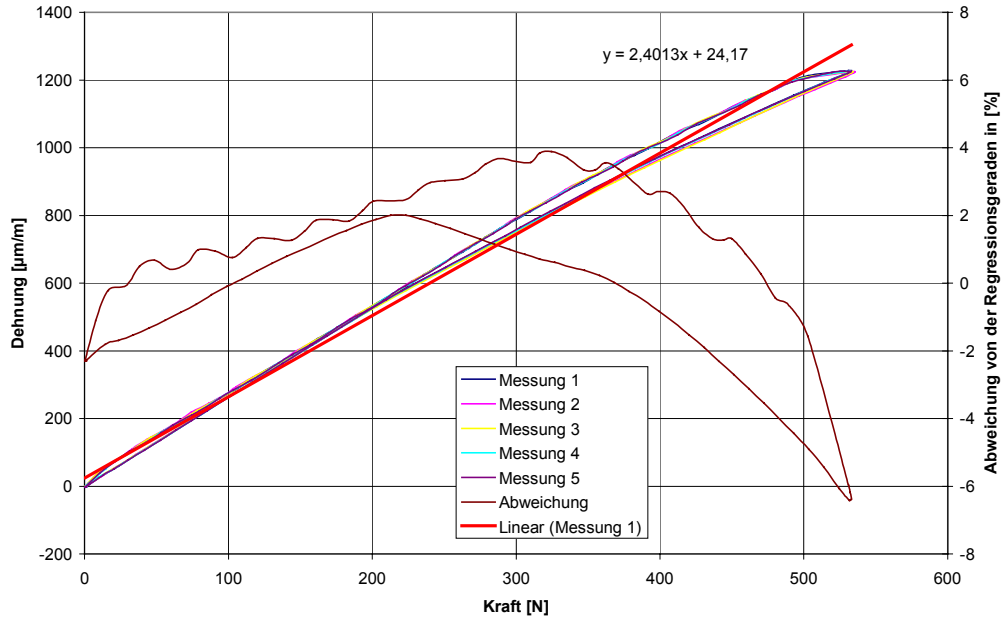


Bild 37: Kennlinie KMB 2.0
Reproduzierbarkeit der Kennlinie und Abweichung bei α=0 Grad für 2P-Auflage

In **Bild 37** ist wieder die Reproduzierbarkeit der KL für fünf Einzelmessungen (fünfmaliges Be- und Entlasten des Gewichtssensors) für die Winkelstellung 0 Grad und Zweipunktauflage dargestellt. Die wiederum auf der Sekundärachse abgebildete minimale bzw. maximale Abweichung von der Regressionsgeraden, auf 500N bezogen, beträgt hier für 0 Grad und Zweipunktauflage maximal:

L = + 3,89% .. –6,42%

Daraus kann man leicht ersehen, dass die Zweipunktauflage hier nicht den erhofften Effekt bringt. Die Hysterese ist durch Reibungsverminderung geringer, die Nichtlinearität jedoch größer als bei der Einpunktauflage. Eine mögliche Erklärung für dieses Verhalten liegt darin, dass es zwar bei der Zweipunktauflage zu einem geringerem Verkippen und damit zu weniger Reibung im Bereich der Bolzenkopfes und des Sicherungsringes bzw. der Sicherungsschraube kommt, generell aber durch den zusätzlichen Schenkel der Einfluss der Reibungskomponente verändert wird. Die Zweipunktauflage soll aber für die weiteren Betrachtungen nicht aus den Augen verloren werden, da sie eventuell auf Grund der geringeren Gefahr des Verkippens einen gewissen Vorsprung in Bezug auf die Lebensdauer erreichen kann. Ein weiterer Punkt der gegen die Zweipunktaufnahme spricht, ist, dass die Sitzhersteller diese nur ungern umsetzen wollen, da sie einen wesentlich höheren konstruktiven Aufwand bedeutet.

4.2.2. Abnahme der Empfindlichkeit

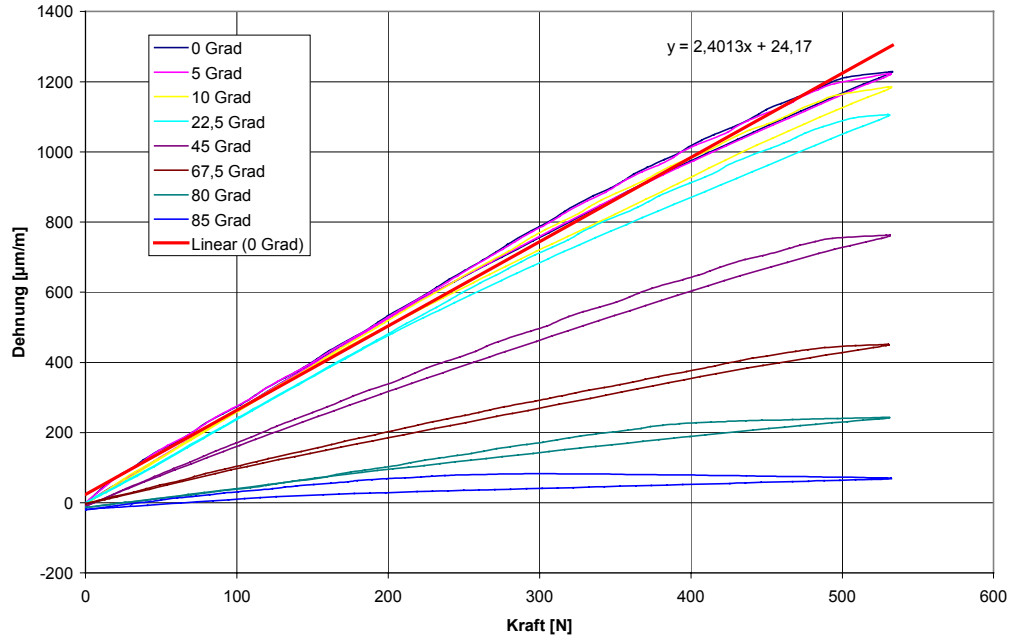


Bild 38: Kennlinie KMB 2.0
Kennlinien bei den Winkeln α=0 bis 85 Grad für 2P-Auflage

In **Bild 38** sind die einzelnen Belastungskennlinien für die unterschiedlichen Winkel α, in denen die Kraft eingeleitet wurde, dargestellt. Wie deutlich ersichtlich ist, nimmt mit zunehmendem Winkel die Empfindlichkeit und damit die Steigung der Regressionsgeraden ab. Dies bedeutet, dass bei einer Verdrehung Richtung größerer Winkel durch die gleichbleibende einwirkende Kraft ein immer kleines Ausgangssignal generiert wird. In gegenwärtigen Fall entspricht dies einer kleineren Dehnung des DMS, und somit einem kleineren Widerstandsänderung. Erkennbar ist aus dieser Messung, dass es bei einer Verdrehung des Bolzens zu einer falschen Ermittelung des Gewichtes der zu schützenden Person kommen würde. Verdeutlichen kann man sich das sehr gut, in dem man die beiden Extremfälle 0 und 85 Grad vergleicht. Während im ersten Fall das Körpergewicht zu 100% erkannt wird, wäre im zweiten nur mehr ein Restgewicht von 10 % erkennbar. Das zu erwartende Ergebnis wird hier bestätigt, nämlich dass die Empfindlichkeit des Kraftmessbolzens im System bei einer Verdrehung stark abnimmt. Zusammengefasst und leichter verständlich wird das im nachfolgenden Bild.

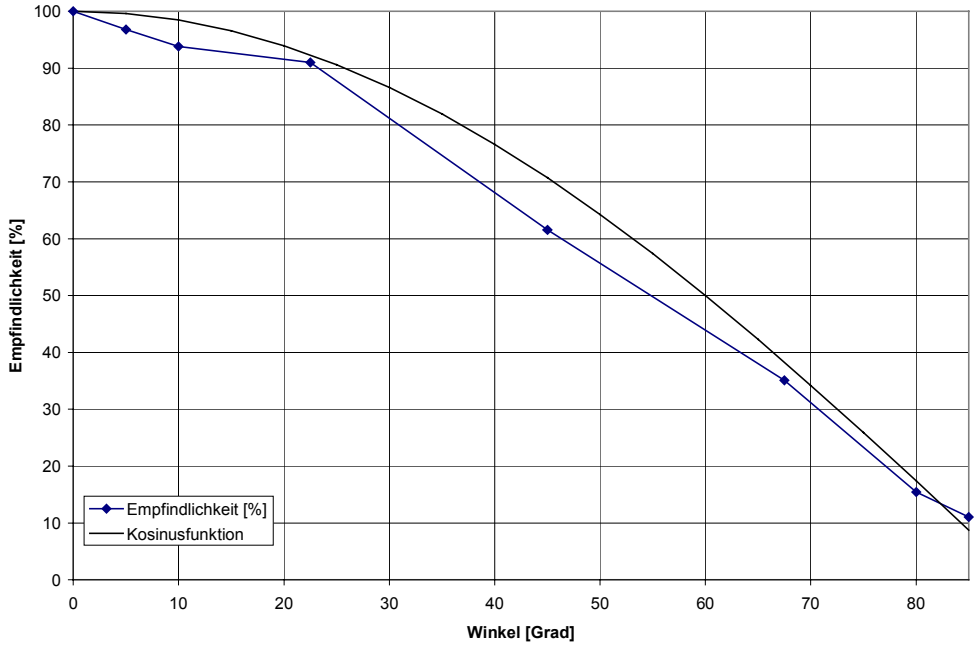


Bild 39: Kennlinie KMB 2.0
Abnahme der Empfindlichkeit als Funktion des Winkel α für 1P-Auflage

In **Bild 39** ist die Abnahme der Empfindlichkeit des Sensors, die auch schon aus **Bild 38** ersichtlich war, in Abhängigkeit des Winkels, in welcher der Sensor zur Krafteinwirkung steht, dargestellt. Die bei 0 Grad auftretende maximale Steigung k der Regressionsgeraden wurde als 100% für die Auswertung herangezogen. Die Werte für die anderen Winkelstellungen wurden daraus abgeleitet. Gut ersichtlich ist aus der Abbildung, dass die Empfindlichkeit relativ konstant bei Verdrehung abnimmt und bei 85 Grad eine Restempfindlichkeit von ca. 10 % erreicht. Theoretisch müsste sich ein Kosinusverlauf einstellen.

Empfindlichkeit:

$$S = \frac{\varepsilon}{F} = \frac{\mu m / m}{N} \qquad (2)$$

Die Empfindlichkeit ist definiert als das Verhältnis der resultierenden Dehnung ε und der einwirkenden Kraft F.

Regressionsgerade:

$$y = k*x + d \qquad (3)$$

k Steigung der Geraden
d Nullpunktsverschiebung der Geraden

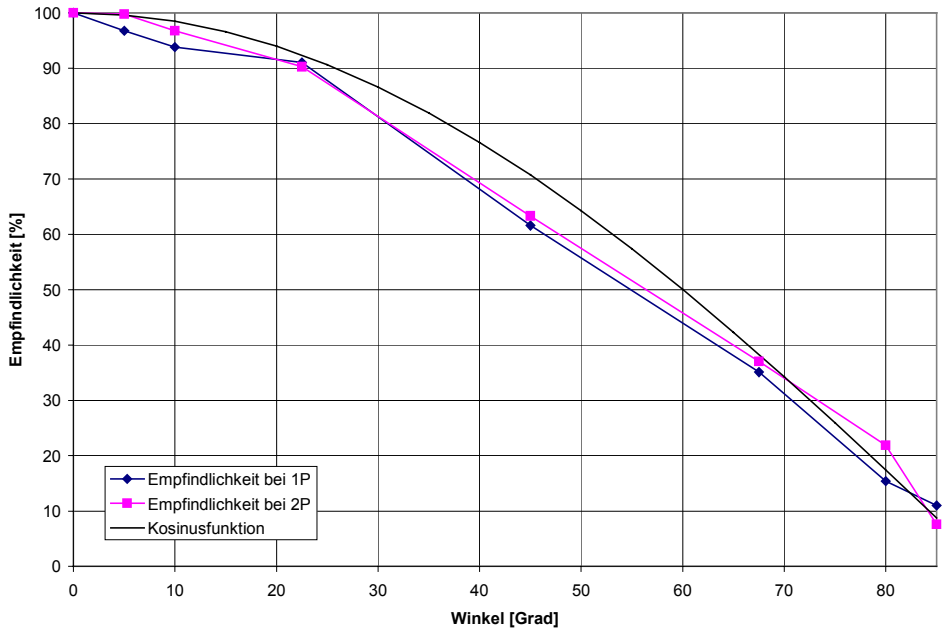


Bild 40: Kennlinie KMB 2.0
Abnahme der Empfindlichkeit als Funktion des Winkel α für 1P und 2P-Auflage

Bild 40 zeigt, im Gegensatz zu **Bild 39**, den direkten Vergleich der Abnahme der Empfindlichkeit bei 1P- und 2P-Auflage für zunehmende Winkel.

Man sieht, dass die Art der Bolzenaufnahme einen Einfluss auf die Empfindlichkeit hat, und daher die 2P-Auflage aufgrund der höheren Empfindlichkeit zu bevorzugen ist.

Empfindlichkeit der 1P-Auflage bei 5 Grad beträgt: 96,8% bei 10 Grad: 93,8%
Empfindlichkeit der 2P-Auflage bei 5 Grad beträgt: 99,8% bei 10 Grad: 96,8%

Dass heißt, dass mit der 2P-Auflage eine Abnahme der Empfindlichkeit von nur 3,2% bis 10 Grad gewährleistet werden kann, im Gegensatz zur 1P-Auflage, bei der dieser Wert 6,2% beträgt. Der Vergleich zeigt, dass die Empfindlichkeit bei 1P-Aufnahme in diesem relevanten Bereich doppelt so stark abnimmt. Ab ca. 20 Grad nehmen die Empfindlichkeiten konstant ab, wobei die 2P-Auflage immer noch eine geringere Abnahme aufweist, was einen kleinen Vorteil bedeutet.
Wichtig war, das Wissen über die Abnahme der Empfindlichkeit in die Konstruktion des Sitzes einfließen zu lassen. Stellt man sich z.B. eine Verdrehung von 50 Grad vor, so würde laut Diagramm eine einwirkende Kraft nur mehr halb als halb so groß erkannt werden. Als Zahlenbeispiel ausgeführt, hätte eine 50 kg schwere Frau dann nur mehr ca. 25 kg. Ergebnis aus diesen Untersuchungen ist, dass eine Sicherung das Verdrehung des KMB zur Horizontalen verhindert muss. Nur durch das Anheben des Sitzes und seine gleichzeitige Bewegung nach vorne und die Ungenauigkeiten in der Ausführung der Verdrehsicherungen kommt es theoretisch zu einer Drehung im Bereich von max. 10 Grad. Zusammenfassend ist zu sagen, dass zwar die Zweipunktaufnahme einen Vorteil in Punkto Empfindlichkeit für sich verbuchen kann, aber durch ihre zusätzliche Reibung eben diesen wieder verspielt. Aus diesem Grund

ist man auch bei der weiteren Entwicklung von dieser abgekommen, was sich später in der Version 5.0 widerspiegeln wird.
Da die Kennlinie theoretisch einer Kosinusfunktion entsprechen müsste, kann die Abweichung von dieser als Einfluss der Querempfindlichkeit interpretiert werden.

4.2.3. Einfluss der Sitzhöhenverstellung

Grundsätzlich wurde der Einfluss der Sitzhöhenverstellung untersucht. Da der Schluss nahe liegt, dass Reibung zwischen den Schenkel der Höhenverstellung auftreten kann, wurden diese Untersuchungen zweimal durchgeführt. Einmal ohne Teflonscheiben als Unterlegescheibe, zwischen den sich verdrehenden Schenkel der Sitzhöhenverstellung und einmal mit. Im zweiten Fall erhoffte man sich eine Verminderung der Reibung. Im folgenden werden die Ergebnisse ohne Einbringung einer Teflonscheibe betrachtet.

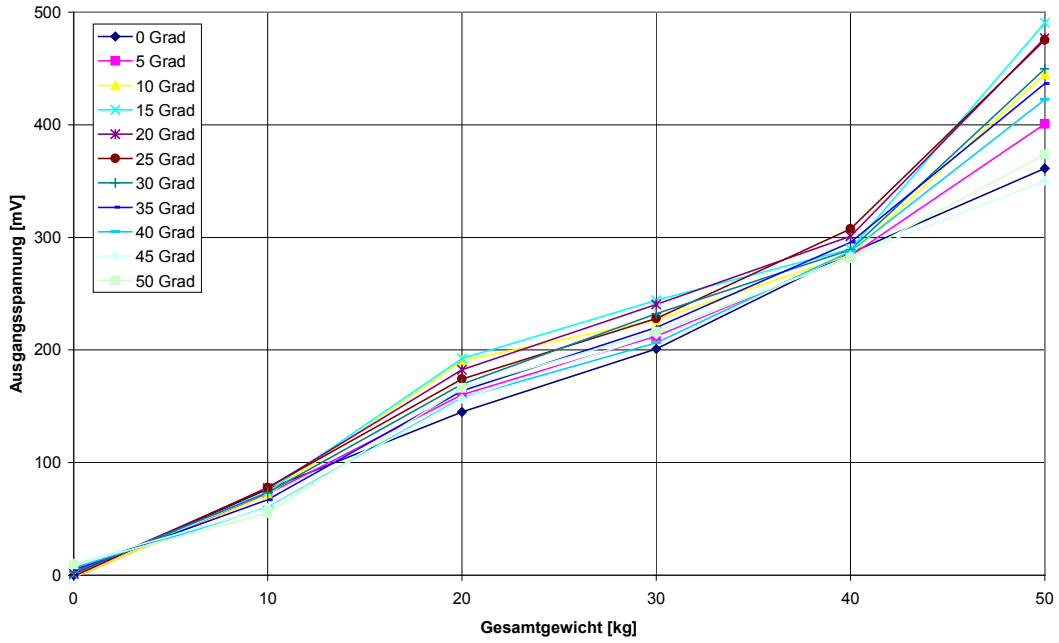


Bild 41: Skalierungsfaktor für das Gesamtgewicht ohne Teflonscheiben für KMB Version 2.0

In **Bild 41** ist der Skalierungsfaktor für das Gesamtgewicht in Abhängigkeit der einzelnen Winkelstellungen und des aufgelegten Gewichtes dargestellt. Ein aufgelegtes Gewicht sollte immer eine proportionale, mit einem konstanten Faktor multiplizierte Ausgangsspannung liefern. An diesem Zusammenhang sollte auch die Stellung des Sitzes, also ein variierender Winkel, nichts ändern. Im Idealfall sollten lauter Geraden mit einer gewissen Steigung erkennbar sein, die alle übereinanderliegen sollten. Das Praxis und Theorie voneinander abweichen wird aus diesem Diagramm ersichtlich. Erkennbar ist eine verstärkte Streuung der Messergebnisse bei einer Belastung mit 50 kg für die einzelnen Winkelstellungen.
Aus diesen Ergebnissen wurden die einzelnen Messpunkte der Kurvenscharen für die Werte 10 bis 50 kg gemittelt, um daraus ein Regressionsgerade für die Umrechnung zwischen Gewicht und Ausgangsspannung ableiten zu können. Dies ist erforderlich um in **Bild 42, Bild 43** und **Bild 44** die Abweichung von der

Regressionsgeraden in Bezug auf den Messbereich von 200 kg herstellen zu können.

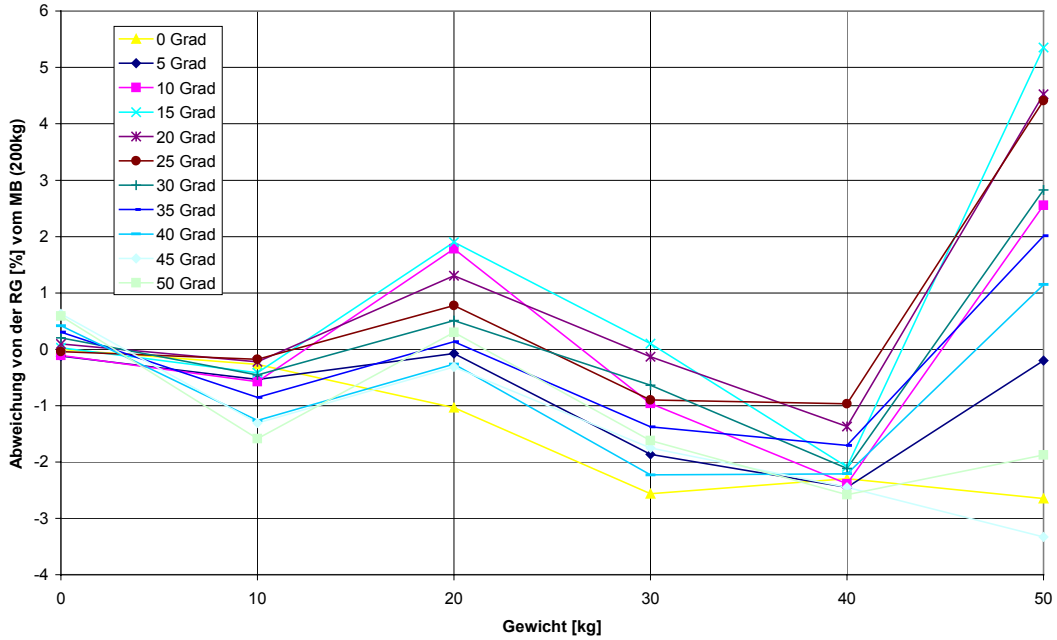


Bild 42: Abweichung in % von der Regressionsgeraden für die einzelnen Winkelstellungen als Funktion des Gesamtgewichtes ohne Teflonscheiben für KMB Version 2.0

In **Bild 42** ist die relative Abweichung von der Regressionsgeraden für die jeweiligen Winkelstellung als Funktion des Gesamtgewichtes ohne Teflonscheiben dargestellt. Dies zeigt, dass bei einer stärkeren Belastung des Sitzes (50 kg) ein wesentlich stärkerer Messfehler auftritt als bei kleiner Belastung (10 kg). Weiter ist auch ersichtlich, dass die Abweichung von der Regressionsgeraden, und damit auch der gemessene Fehler weitgehend unabhängig ist von der Höhe des Sitzkissens und somit von der Winkelstellung. Ein Zusammenhang zwischen der Winkelstellung und dem Fehler ist in diesem Versuch aufgrund der undefinierten Reibungsverhältnisse nicht gegeben.

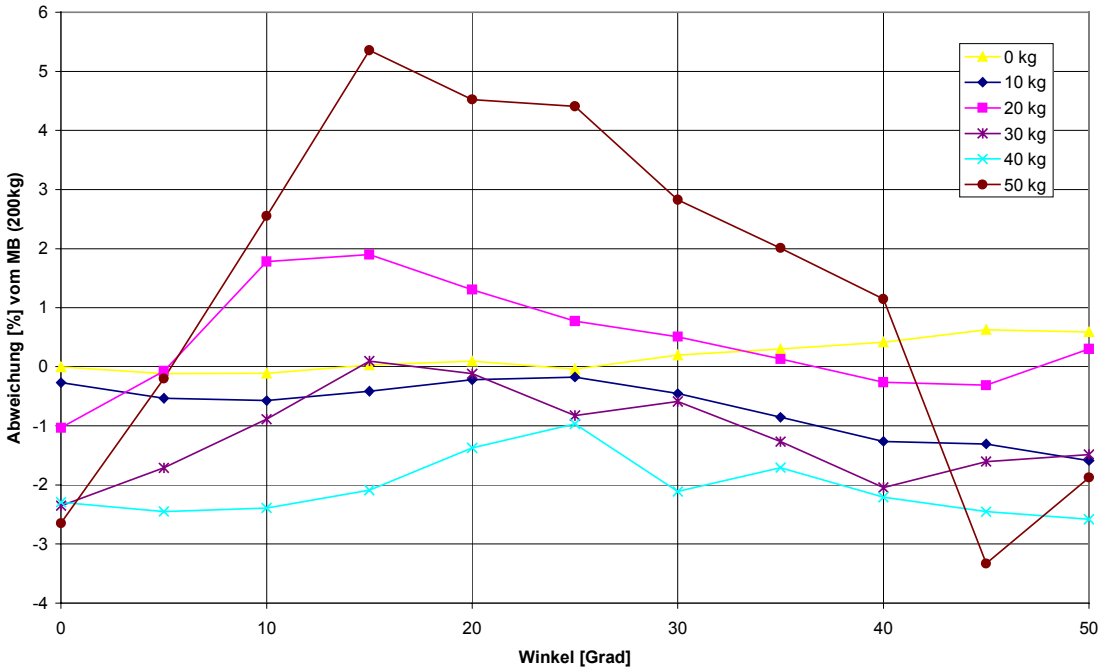


Bild 43: Abweichung des Gesamtgewichtes in Bezug auf die Regressionsgerade bezogen auf den MB (200kg) ohne Teflonscheiben für KMB Version 2.0

In **Bild 43** ist die Abweichung des Gesamtgewichtes in Bezug auf die Regressionsgerade für den Fall, dass keine Teflonscheiben, zwischen den sich verdrehenden Schenkel der Höhenverstellung verwendet wurden, dargestellt. Bezogen sind die Werte auf den Messbereich von 200kg. Im Gegensatz zum vorherigen Diagramm ist die Abweichung hier nicht über dem Gewicht, sondern über dem Winkel dargestellt. Dies lässt nun eine Aussage darüber zu, ob es einen Zusammenhang zwischen der Winkelstellung und dem Fehler gibt. Deutlich zu erkennen ist der Trend, dass es im Bereich bis 20 Grad zu einer erhöhten Abweichung und damit verbunden zu einem Ansteigen des Messfehlers kommt. Erkennbar ist auch, dass es keinen Zusammenhang zwischen Winkelstellung und auftretendem Fehler gibt. Es tritt hier kein Effekt auf, dass z.B. mit zunehmendem Winkel auch der Fehler ansteigen würde. Weiter ist kein Bezug zwischen aufgelegtem Gewicht und einem Ansteigen der Abweichung zu erkennen. Die maximale Abweichung vom Messbereich beträgt +5,5 % und –3,5%.

Es folgt nun der direkte Vergleich mit den Messergebnissen bei Verwendung von Teflonscheibe.

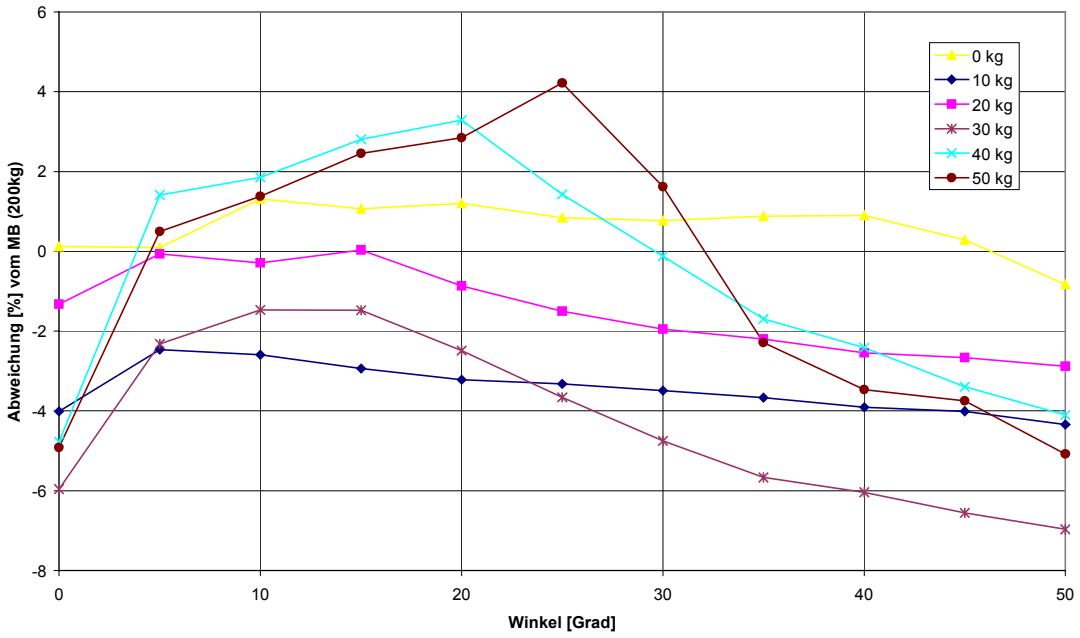


Bild 44: Abweichung des Gesamtgewichtes in Bezug auf die Regressionsgerade bezogen auf den MB (200kg) mit Teflonscheiben für KMB Version 2.0

In **Bild 44** ist der gleiche Zusammenhang dargestellt, wie in **Bild 43**, nur für den Fall, dass Teflonscheiben verwendet werden. Zu erwarten war, dass deren Verwendung zu einer Abnahme der Abweichung von der Regressionsgeraden und damit zu einer Minimierung des Messfehlers führen würde. Das Diagramm zeigt aber, dass sich die positive Abweichung von +5,5% auf 4,2% verringert hat, aber in negativer Richtung sich von –3,5% auf –6,5% verschlechtert hat. Dies lässt den Schluss zu, das eine Verwendung von Teflonscheiben nicht den erwarteten Verbesserungseffekt erzielt. Eine mögliche Erklärung dafür liegt wohl darin, dass der größte Anteil der Reibung wohl nicht zwischen den beiden Schenkeln der Höhenverstellung auftritt, sondern nach wie vor im Bereich des Sensorkopfes. Dies konnte auch bestätigt werden, in dem festgestellt wurde, dass durch Einbau einer halbmondförmigen Teflonscheibe im Kopfbereich eine wesentliche Reduktion erzielt werden konnte.

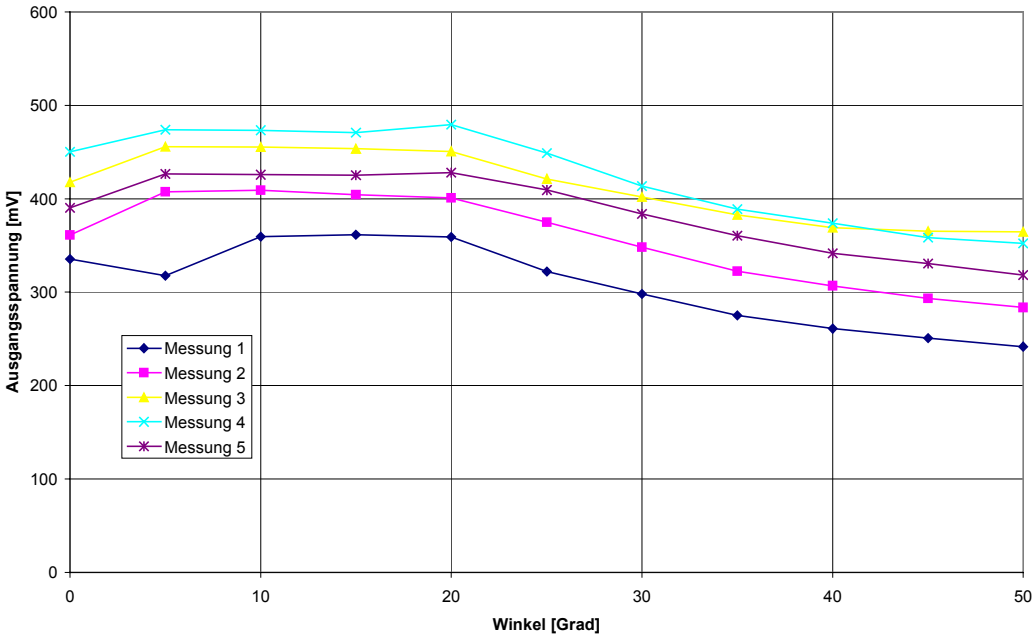


Bild 45: Reproduzierbarkeit des Gesamtgewichtes mit Teflonscheiben und Belastung mit 40 kg bei einmaligem Nullabgleich für KMB Version 2.0

In **Bild 45** ist die Reproduzierbarkeit des Gesamtgewichtes bei einer Belastung des Sitzes mit 40 kg und der Verwendung von Teflonscheiben dargestellt. Es wurde ein einmaliger Nullabgleich durchgeführt, dann wurde der Sitz belastet und die einzelnen Winkelstellungen bei der Höhenverstellung durchlaufen. Danach wurde entlastet, in den ursprünglichen Zustand zurückgefahren und wieder belastet. Dies wurde fünf mal durchgeführt. Wie aus den Kennlinien deutlich ersichtlich ist, ist der Verlauf der Kurven nahezu parallel, was auf eine gute Reproduzierbarkeit hindeutet. Die Verschiebung zwischen den Kurven deutet auf Reibungsverluste in der Sitzkonstruktion hin, die einen Offset verursachen. Weiter ist keine Regelmäßigkeit festzustellen. Es gibt zwischen den einzelnen Offsets also keinen Zusammenhang, dass dieser mit jedem Mal Belasten ab- bzw. zunehmen würde. Der Offset könnte jedoch durch einen erneuten Abgleich des Systems mittels geeigneter Software kompensiert werden.

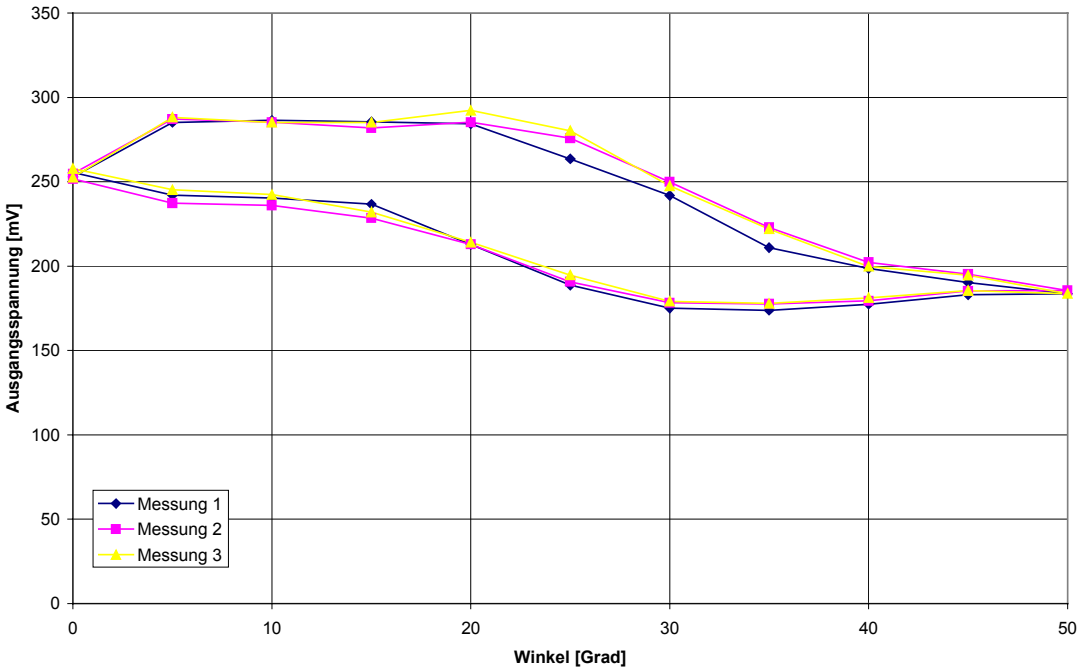


Bild 46: Hysterese beim Hoch- und Runterfahren des Sitzes mit Teflonscheiben für KMB Version 2.0

In **Bild 46** ist die Hysterese, welche beim Hoch- und Runterfahren des Sitzes entsteht, bei Verwendung von Teflonscheiben, dargestellt. Es wurde ein einmaliger Abgleich durchgeführt, danach wurde der Sitz mit 40 kg belastet und dreimal komplett in der Höhe verstellt, d.h. von der tiefsten zur höchsten Sitzposition und wieder zurück. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Sensoren beim Rauffahren ein anderes Gewicht zeigen als beim Runterfahren. Dies kann aufgrund von Verkippung der KMB und durch Reibungsverluste auftreten. Zu erkennen ist, dass der maximal auftretende Unterschied zwischen der Kurve des Hoch- und des Runterfahrens ungefähr 80 mV beträgt, also ungefähr 30 % der maximalen Ausgangsspannung der DMS. Dieser Wert ist nicht akzeptabel und muss durch weitere konstruktive und messtechnische Maßnahmen eliminiert werden.

4.2.4. Untersuchung der vermuteten Haftreibungseinflüsse

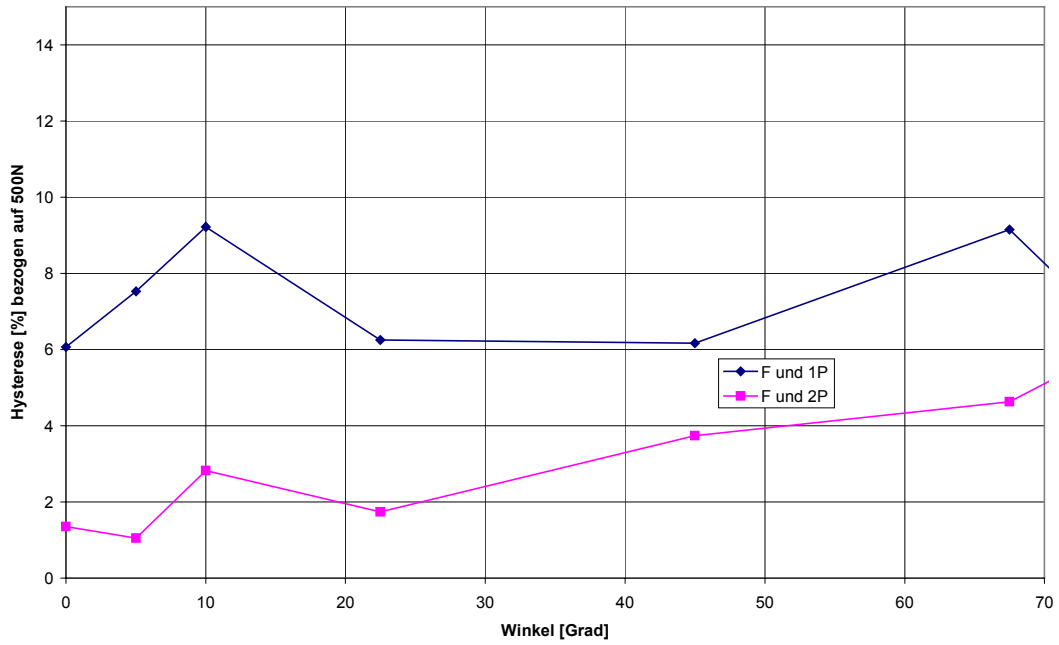


Bild 47: Hysterese in % bezogen auf 500N für 1P- und 2P-Aufnahme ermittelt für 250N für KMB Version 2.0

Bild 47 zeigt das Verhalten der Größe der Hysterese, bezogen auf den Messbereich (500N) für 1P und 2P-Aufnahme und die einwirkende Kraft F. Berechnet wurden die Werte für die einzelnen Winkelstellungen und den Wert 250N welcher die Mitte des Messbereiches repräsentiert. Es ist deutlich ersichtlich, dass die Hysterese bei einem Anfangswert von unter 2% für die 2P-Auflage und bei etwa 6% bei der 1P-Auflage beginnt und danach stetig im relevanten Bereich bis α=70 Grad ansteigen. Dieses Ergebnis zeigt, dass hier die 2-Punktauflage wesentlich weniger Hystereseerscheinungen im Bereich von 250N zeigt. Was an dem Messergebnis vielleicht verwunderlich erscheint ist die Tatsache, dass es beim Winkel um die 10 Grad zu einer erhöhten Hysterese kommt. Da diese Tatsache sich aber in zwei unabhängigen Messergebnissen widerspiegelt, lässt dies den Schluss zu, dass es sich um keinen Messfehler handelt.

4.2.5. Dynamische Messungen

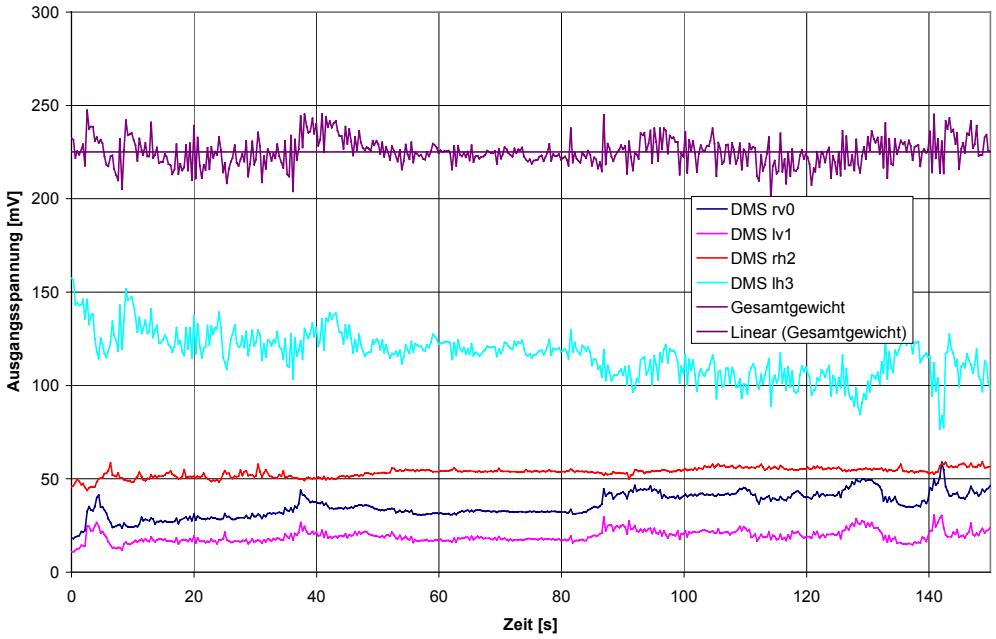


Bild 48: Autobahn für KMB Version 2.0

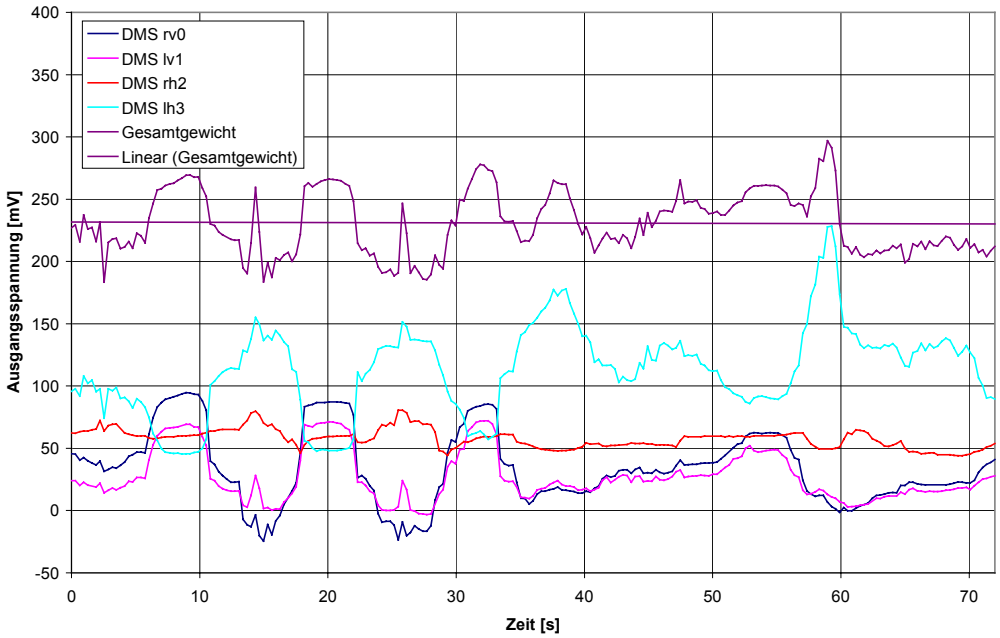


Bild 49: Bremsen und Beschleunigen für KMB Version 2.0

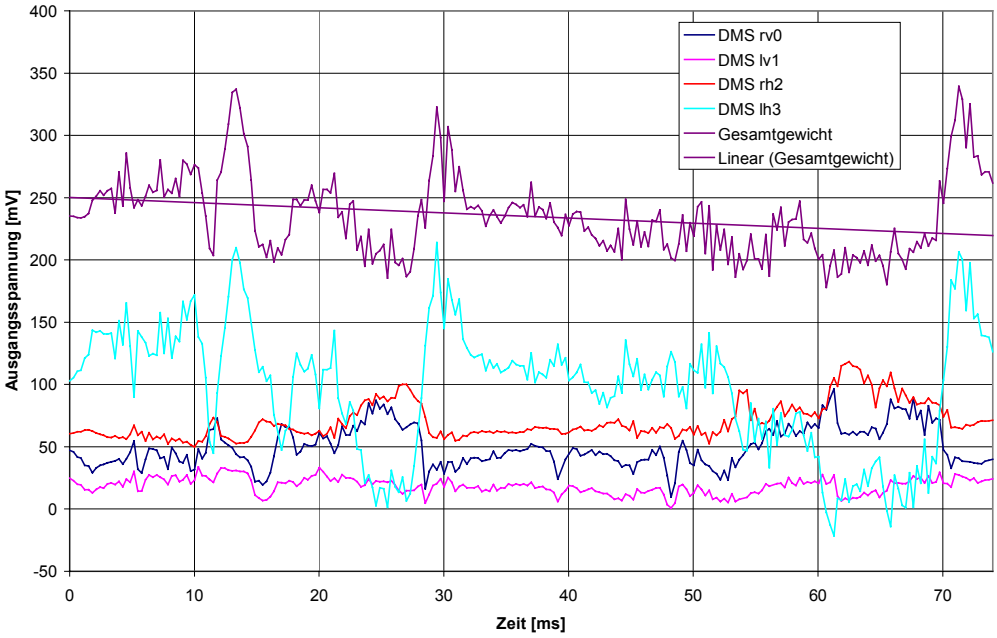


Bild 50: Steinplatten für KMB Version 2.0

Bewertung der Messergebnisse

Wie in **Bild 48** bis **Bild 50** zu erkennen ist, kommt es durch die von außen auf das Feder-Masse-System einwirkenden Kräfte zu einem zeitlichen Variieren des durch die vier Sensoren ermittelten Gewichts und damit auch zu einer Änderung des Gesamtgewichts. Je nach befahrenem Straßenbelag ergibt sich eine mehr oder wenig starke Abweichung von der Regressionsgeraden. Diese soll den laufenden Mittelwert des Gesamtgewichtes widerspiegeln und die Tendenz erkennen lassen, ob dieses konstant bleibt oder sich verändert. So ist deutlich aus dem Vergleich zwischen einer Autobahnfahrt und dem Befahren eines Steinplattenweges zu erkennen, dass die jeweiligen Gesamtgewichte zwar im selben Bereich liegen, jedoch unterschiedlich starke Schwankungen aufweisen. Es ist erkennbar, dass das Gesamtgewicht beim Steinplattenweg stärker variiert. Selbiges gilt auch für den Vergleich zwischen der Fahrsituation „Bremsen“ und „Beschleunigen“ und dem Befahren der Autobahn.
Das bedeutet, das bei der Auswertung unbedingt eine Mittelwertbildung erfolgen muss bzw. ein Beobachter eingesetzt werden muss, weil das Airbagsteuergerät ansonsten kontinuierlich ein- bzw. ausschalten würde. Weiter ist noch sehr auffällig an diesen Messungen, dass die einzelnen verwendeten Sensoren eine unterschiedliche Empfindlichkeit aufweisen. Zu erkennen ist, dass die hellblaue Kennlinie des Sensors DMS lh3 (3. Sensor, links hinten) ungefähr doppelt bis dreifach so empfindlich ist wie die anderen. Die möglichen Erklärung dafür liegen einerseits darin, dass sich die einzelnen Sensoren aufgrund der Fertigungstoleranzen zu einem geringen Teil unterscheiden, eher aber in einer Verspannung der Sitzkonstruktion. Diese resultiert einerseits durch den zur Höhenverstellung verwendeten Torsionsstab, bzw. durch den Einbauvorgang selber oder durch ein Verspannen in den jeweiligen Höhenstellungspositionen des Sitzes. Weiter ist noch die zu erwartende Tendenz erkennbar, dass die Sensoren an der Front- bzw. Rückseite des Sitzes den gleichen Amplitudengang aufweisen. Das

bedeutet, dass die KMB stets gemeinsam entweder in die positive oder negative Richtung ausgesteuert werden. Wie aus den obigen Kurven hervorgeht, sieht man, dass die Summe der Ausgangsspannungen immer im Bereich um 250 mV liegt. Die Größe der Spannung könnte nach Auflage eines bekannten Gewichtes natürlich auch in Kilogramm kalibriert werden, was aber für die obigen Schlussfolgerungen nicht erheblich ist. Bei der Wiederholung dieser Untersuchungen mit Hilfe der endgültigen Version des KMB und nach dem Eliminieren der durch die Vorarbeit erkannten Ursachen und Einflüssen, wird der Messfehler wesentlich verringern sein.

4.3. KMB der Version 3.0

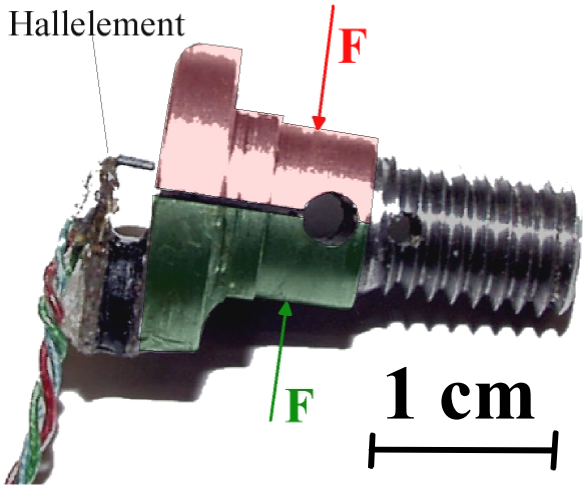


Bild 51: KMB, Version 3.0; unidirektional

Oben ist der weiterentwickelte Prototyp der Version 2.0 abgebildet. Es handelt sich um ein unidirektionales Messsystem. Er bietet den Vorteil, dass er nur wenig größer ist, als die ursprünglich zur Verbindung der beiden Schenkel der Sitzkonstruktion, eingesetzten Schrauben. Eine eventuelle Fertigung des Sensors dürfte aufgrund seiner Einfachheit relativ kostengünstig ausfallen. Die erste Modifikation zur Version 2.0 besteht darin, dass dieser Sensor nur mit Hallelement bestückt ist. Die Applikation eines DMS ist bei dieser Art der Konstruktion eher schwierig. Verbaut wurde der Hallsensor KSY 14 von Infineon. Dieser erlaubt keine Selbstdiagnose wie bei den später verwendeten Sensoren von Melexis. Der zweite Unterschied besteht in der mechanischen Konstruktion. Bei der Version 1.0 und 2.0 war der Bolzen im Bereich des Gewindes geschlitzt. Da daraus das Problem resultierte, dass der Sensor durch die Sicherungsmutter einen zusätzlichen Offset erfuhr, bzw. dass er nicht mehr hinreichend befestigt werden konnte, wurde die Konstruktion geändert. Der Kraftmessbolzen weist im Bereich des Kopfes nach dem Gewinde einen durchgehenden Schlitz auf. Im Belastungsfall bewegt sich nun der rot hervorgehobene Teil in Richtung des grünen und mit ihm der angebrachte Magnet. Dies führt zu einer Veränderung des Spaltes und somit der Flussdichte und bewirkt damit eine Variation des Ausgangssignals des Hallelements. Diese Konstruktion ermöglicht einen effektiven Überlastschutz. Wird der Bolzen belastet, so kommt es zu einer zunehmenden Verengung des Luftspalts. Ist dieser Null, so wirkt der KMB mechanisch gesehen wie eine normale Schraube mit nahezu gleichem Querschnitt und gleicher Festigkeit. Bei den ersten Probeuntersuchungen stellte sich heraus, dass die Hysterese dieses KMB viel zu groß ist. Dies ist dadurch zu erklären, dass im Belastungsfall ein Verkippen des Kopfes auftritt und damit eine höhere Reibung zwischen dem Kopf und dem Schenkel der Höhenverstellung bzw. zwischen den beiden Schenkeln selbst entsteht. Aus diesem Grund wurde der Bolzen nicht eingehender untersucht, es wurde zu diesem Zeitpunkt die Entwicklung eines bidirektionalen Systems angestrebt. Wäre der Sensor in Serienproduktion gegangen, so wäre natürlich der Hallsensor in einem schützenden Gehäuse integriert worden. Da diese Version die oben beschriebenen Nachteile aufweist, wurde sie nicht weiter verfolgt.

4.4. Ringbolzen Version 4.0

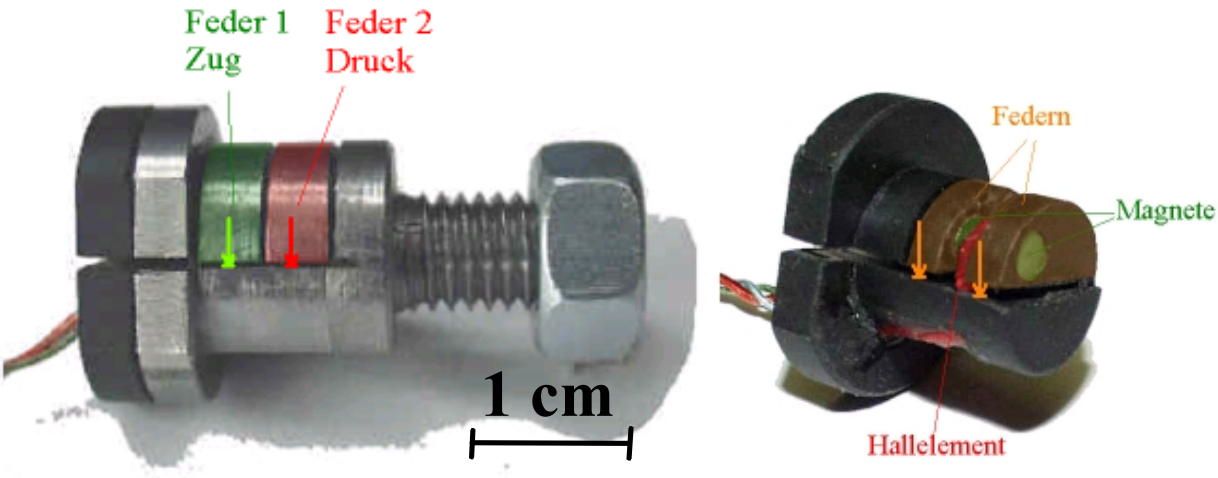


Bild 52: MB Version 4.0 (Ringbolzens), bidirektional; Außenteil, Innenteil

Der Ringbolzen besteht in seinem Aufbau aus einem Innenteil, aus glasfaserverstärktem Kunststoff, und einem Außenteil aus Stahl. Der Innenteil trägt die Messelektronik, welche aus dem Hallsensor der Firma Melexis Typ 90251 AA (rot) und zwei Seltenerdemagneten (grün) besteht. Zur Funktionsweise des Bolzens ist zu sagen, dass die Krafteinleitung über eine der beiden halbkreisförmigen Stahlfedern des Außenteils erfolgt, wobei jeweils eine für die Messung von Druck und die andere für Zug verantwortlich ist. Die Federn für Zug und Druck sind in der linken Abbildung rot und grün hervorgehoben. Sie übertragen die Kräfte auf die am Innenteil (Bild rechts) orange hervorgehobenen Federn. Die eingezeichneten Pfeile geben die möglichen Bewegungen der einzelnen Biegeelemente wieder. Dieser Sensor bietet also im Vergleich zu den vorangegangenen Konzepten den Vorteil, dass er bidirektional arbeitet. Erkennbar wird dies in der nachstehenden Kennlinie, wobei jeweils ein Magnet für die Aussteuerung im I. bzw. III. Quadranten zuständig ist. Wird der Bolzen belastet, verbiegt sich eine der beiden Federn, und es wird die angelegte Kraft auf eine der zwei Kunststofffedern des Innenteils übertragen. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung von einem der beiden Magneten gegenüber dem Hallelement und damit zur Entstehung einer Ausgangsspannung. Probleme ergeben sich bei diesem Bolzen dadurch, dass das Hallelement und die Magneten in einer definierten Geometrie zueinander stehen müssen, da eine Abweichung von dieser sich in einem verfälschtem Messergebnis widerspiegelt. Dies war fertigungstechnisch sehr problematisch. Ein weiteres Problem war auch die mangelnde Resistenz gegen Umwelteinflüsse wie Schmutz und Feuchtigkeit.
Gemessen wurde wieder die Hysterese und die Abnahme der Empfindlichkeit. Da mit Hilfe der im vorhergegangen beschriebenen Messeinrichtung nur Druck erzeugt werden konnte, wurde die Kennlinie durch folgende Vorgehensweise ermittelt. Es wurden die Messungen für Druck und Zug getrennt durchgeführt und dann anschließend im Diagramm zusammengesetzt. Eine Differenzierung der beiden Belastungsfälle konnte dadurch erzielt werden, dass der Sensor um 180 Grad gedreht wurde und die jeweilige Stahlfeder mit Druck belastet wurde. Dafür musste die Messeinrichtung dermaßen umgestaltet werden, dass sie dies zuließ.

Ergebnisse:

4.4.1. Reproduzierbarkeit

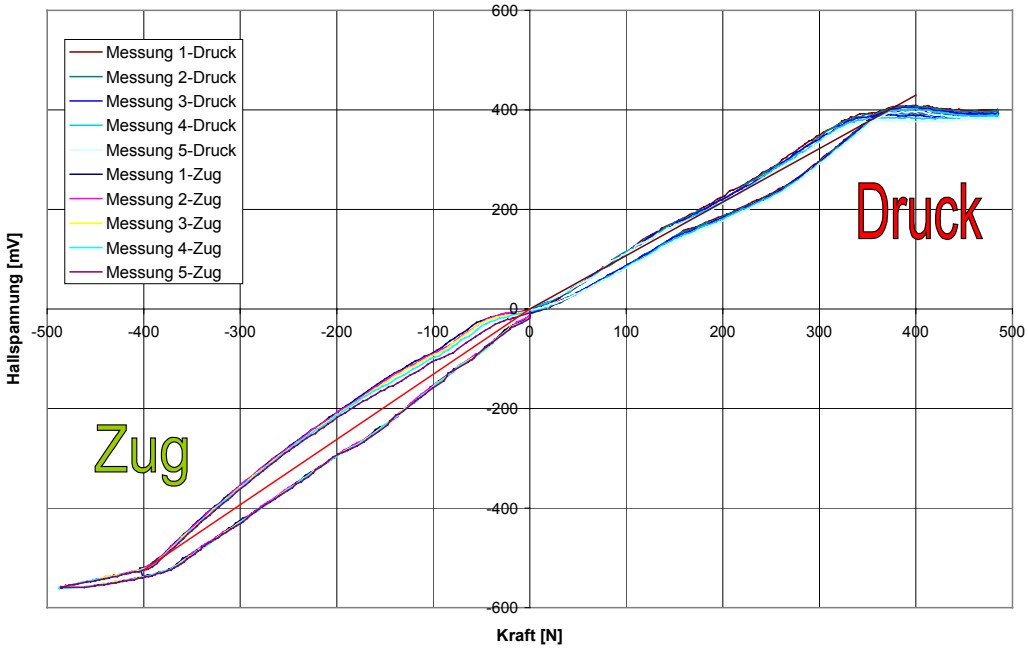


Bild 53: Reproduzierbarkeit der Kennlinie, KMB Version 4.0

Es wurden wieder jeweils fünf Messungen für die Feder 1 und Feder 2 durchgeführt, um zu zeigen, dass die Messergebnisse auch reproduzierbar sind. Die Kennlinie zeigt deutlich, dass ab einer Kraft von ca. 400 N der Überlastschutz wirksam wird. Dieser Effekt ist dadurch erklärbar, dass sich bei steigender Belastung der Luftspalt zunehmend vermindert, bis er schließlich bei ca. 400N Null wird. Das Resultat ist, dass eine weitere mechanische Verformung und damit eine weitere Aussteuerung des Hallsensors unmöglich wird, weil es zu keiner weiteren Verschiebung der Magneten gegenüber dem Hallsensor kommen kann. Deshalb kommt es zu keiner weiteren Zunahme der Hallspannung, obwohl es zu einer stärkeren Belastung kommt. Um auch größere Kräfte messen zu können, müssten die Federn einen stärkeren Querschnitt aufweisen, bzw. ein steiferes Material verwendet werden.
Aus der Abbildung ist auch zu entnehmen, dass die beiden Steigungen der Regressionsgeraden nicht gleich sind, was bedeutet, dass die Empfindlichkeit der beiden Messfedern unterschiedlich ist. Der Grund ist in den unterschiedlichen Fertigungstoleranzen zu suchen. Dies zeigt die Problematik dieses Konzepts, nämlich, dass Fertigungsgenauigkeiten direkt in das Messergebnis mit ein fließen. Besser wäre es also nur ein Messelement für Druck und Zug zu haben. Außerdem ist bei dem gefertigten Prototyp weiter nicht auszuschließen, dass das Hallelement beim Einbringen des Innenteils in seiner Lage beeinflusst wird. Dies würde wieder zu einer unterschiedlichen Aussteuerung führen. Diese Vermutung wurde aber im einzelnen nicht näher untersucht, da sonst der KMB mit bildgebenden Methoden wie Röntgendurchleuchtung näher untersucht werden hätte müssen. Auf Grund der viel zu hohen Hysterese war man an der Feststellung dieses Einflusses nicht mehr interessiert.

4.4.2. Ansprechen des Überlastschutzes

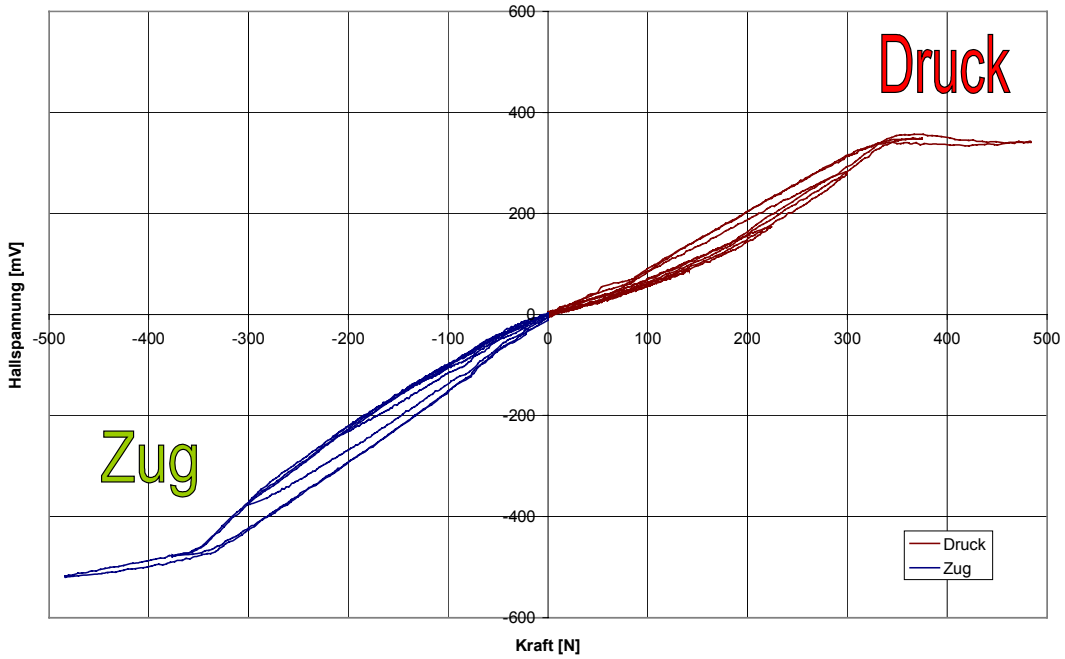


Bild 54: Belastungskennlinie für mehrfache Belastung, KMB Version 4.0

In diesem Bild sind die jeweiligen Hysteresen für die beiden Federn und verschiedenen Belastungsfälle dargestellt. Belastet wurde mit Druck- und Zugkräften von 100, 200, 300, 400 und 470 N. Wie man aus obigem Diagramm entnehmen kann, bleibt die Hysterese in bezug auf den Belastungsbereich prozentuell ziemlich konstant. Die Größe der Hysterese scheint aber für eine Weiterverfolgung des Sensorkonzeptes zu beträchtlich. Erklären kann man die relativ breite Hystere dadurch, dass es beim Belasten der Feder zu einer Bewegung in zwei Dimensionen kommt, nach unten und zur Seite. Dieser Sachverhalt führt zu einer enormen Reibung zwischen dem Außenteil und dem Innenteil des Sensors. Daher resultiert ein weiterer Wunsch für die nächste Version des KMB, nämlich dass das neue Sensorkonzept tolerant gegenüber diesen Einflüssen ist. Weiter würde sich aufgrund der schwimmenden Befestigung des KMB in der Sitzkonstruktion die Reibung, welche zwischen den Schwingen und dem KMB auftritt, zusätzlich zu diesem Wert addieren. Resultieren würde daraus eine unzureichenden Messgenauigkeit. Dies ist ein gegenüber den anderen Konstruktionen gravierender Mangel.

4.4.3. Abnahme der Empfindlichkeit

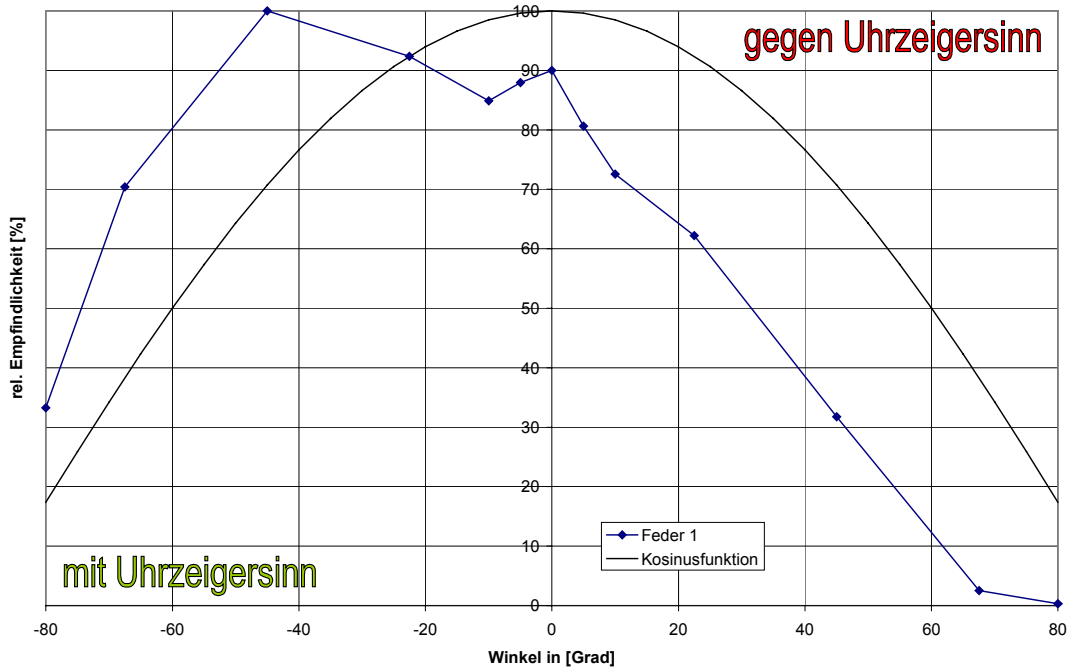


Bild 55: Abnahme der Empfindlichkeit , KMB Version 4.0

Abschließend ist noch die Abnahme der Empfindlichkeit des Sensors interessant. Aufgrund des Mankos der viel zu großen Hysterese wurde diese Messung aus Zeitgründen nur mehr für die Feder 1 durchgeführt. Das zu erwartende Resultat sollte sich prinzipiell für die zweite Feder im wesentlichen nicht unterscheiden. Auf eine Messung wurde aber aus den oben angeführten Gründen verzichtet. Da die Konstruktion eine Unsymmetrie gegenüber der Längsachse aufweist, wurde eine Untersuchung in beide Richtungen durchgeführt. Das heißt, es wurde der Sensor einmal um 90 Grad im Uhrzeigersinn, und anschließend um 90 Grad gegen den Uhrzeigersinn verdreht. Wie aus der Kennlinie deutlich zu ersehen, ist die Abnahme der Empfindlichkeit in beiden Fällen unterschiedlich. So ist das Maximum der Empfindlichkeit nicht wie erwartet bei 0 Grad, sondern bei –45 Grad. Weiter ist zu erkennen, dass das Ausgangssignal von diesem Maximalwert ausgehend nicht kontinuierlich für Druck und Zug symmetrisch abnimmt. Es ist sogar noch erkennbar, dass es ein lokales Minimum bei –10 Grad gibt. Hier handelt es sich nicht um einen Messfehler, sondern um zwei tatsächlich auftretende Effekte, die wieder der Unsymmetrie bezüglich der Längsachse zuzuschreiben sind. Dies ist für eine Messwertgewinnung nicht tragbar.
Erklärt werden kann dies dadurch, dass die Feder bei –90 Grad montiert ist und sich bis +90 Grad halbkreisförmig erstreckt. Ersichtlich ist diese Anordnung in **Bild 56**. Einerseits beeinflusst der Hebelarm der Feder die Kennlinie. Je länger der Hebelarm um so sensitiver reagiert der KMB auf die einwirkende Kraft.

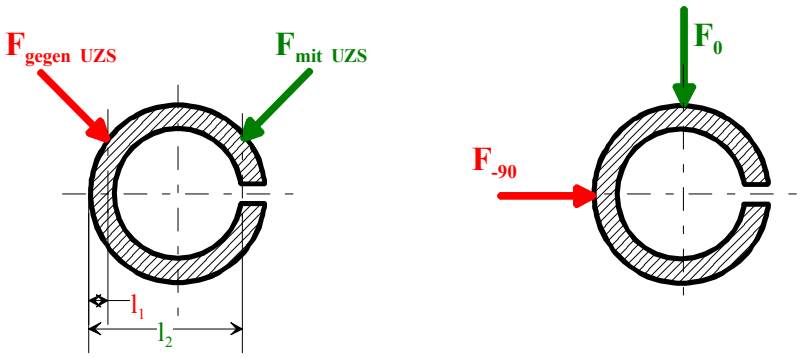


Bild 56: Verständnisskizzen zur Erklärung der auftretenden Effekte

Die obige Zeichnung zeigt die Federn des KMB im Querschnitt. Aus der ersten Abbildung geht hervor, dass sich der wirksame Hebelarm verändert, wenn man den Bolzen einmal gegen bzw. mit dem Uhrzeigersinn verdreht. So ist klar, dass es bei einer Verdrehung gegen den Uhrzeigersinn zu einer Abnahme, bei einer Verdrehung im Uhrzeigersinn zu einer Zunahme des resultierenden Hebelarms kommt. Je größer der Hebel ist auf den die Kraft einwirken kann, um so größer ist die resultierende Durchbiegung und damit das generierte Ausgangssignal des Hallelements.
Der zweite Effekt der zu tragen kommt, ist an welcher Stelle die Kraft eingeleitet wird. Dargestellt sind die beiden Extremfälle, welche die Vorstellung erleichtern sollen. So kommt es beim Einleiten im Winkel von –90 Grad zu keiner Verformung des Messelements, wogegen eine Krafteinleitung unter 0 Grad eine maximale Verbiegung zur Folge hat. Aufgrund dieser beiden Zusammenhänge kann man die nicht erwartete Kennlinie erklären.

4.5. Topfbolzen Version 5.0

Konstruktion:

Der Topfbolzen ist eine Weiterentwicklung der vorausgegangenen Prototypen. Er besteht im Prinzip aus zwei Teilen, einem klassischen Wägelement im Inneren (grün hervorgehoben) und einer Glocke (rot) zur Krafteinleitung. Die beiden Teile wurden getrennt voneinander gefertigt und anschließend beim Prototypen verschraubt. In der Endfertigung sollen sie entweder verschweißt oder wälzbundgenietet werden. Da die Verschraubung zusätzlich Platz beansprucht, ist diese unerwünscht, weil an den Stellen an welchen die Sensoren in die Sitzkonstruktion integriert sind ansonsten nicht ausreichend Platz zur Verfügung steht. Wichtig ist dabei, dass sich der in der Glocke integrierte Magnet nicht gegenüber dem Innenteil verdrehen kann, da sich ansonsten der Arbeitspunkt des Hallelements verschieben würde, und es somit zu einer unterschiedlichen Aussteuerung für die beiden Belastungsfälle Druck und Zug kommen würde. Das Wägelement kann sowohl mit einem Hallsensor, welcher in der neutralen Phase montiert wird, als auch mit DMS an der Oberfläche bestückt werden. In den nachfolgenden Fotografien ist der Sensor einmal im zusammengebauten Zustand, das Innenteil mit Hallelement bestückt, und in der Ansicht von vorne abgebildet.

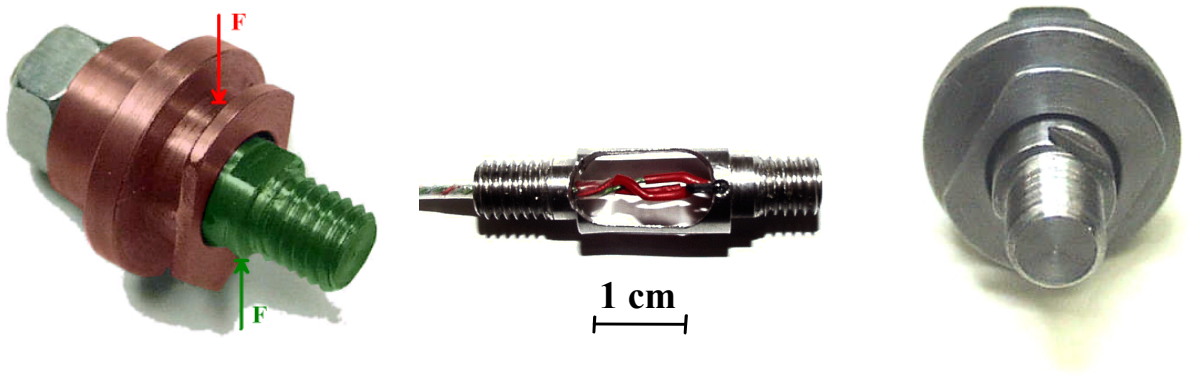


Bild 57: KMB Version 5.0 (Topfbolzen), bidirektional; gesamt, Innenteil - Wägelement, Frontalansicht

Vorteile des Topfbolzens:

Sein erster Vorteil liegt in der relativ einfachen und kostengünstigen Fertigung. So ist dieser Bolzen ein reiner Dreh- und Frästeil bzw. kann in der späteren Produktion kaltgepresst werden. Das Messelement muss nachbearbeitet werden, damit eine vorgegebene Genauigkeit erreicht werden kann. Es besteht aus Edelstahl um etwaige magnetische Kurzschlüsse zu tilgen. Da die Empfindlichkeit von der Fertigungstoleranz abhängt, ist es vorstellbar, dass nach dem Zusammenbau des Sensors eine Programmierung des Hallelements erfolgt, um eine genaue Empfindlichkeit des Hallelements zu erreichen. Aufgrund der Konstruktion des Messelementes im Inneren kann der Sensor relativ leicht an verschieden große Belastungskräfte angepasst werden. Dies erfolgt in dem die Längsfräsung im Inneren im Durchmesser variiert bzw. seitlich eine zusätzliche Schwächung durch Abfräsung durchgeführt wird. Der Sensor wird also umso weicher, je weniger Querschnittsfläche das Biegeelement aufweist. Die Materialwahl bietet auch den zusätzlichen Vorzug, dass der Sensor gegen Umwelteinflüsse wie Korrosion besser geschützt ist als seine

Kontrahenten aus Automatenstahl. Er bietet die Möglichkeit sowohl Druck, als auch Zug vorzeichenrichtig zu messen. Dies erlaubt es, die Fälle zu berücksichtigen, in denen sich der Fahrgast mit den Füssen am Armaturenbrett abstützt und sich stark zurücklehnt. Durch seine ausgefeilte Konstruktion ergibt sich ein automatischer Überlastschutz. Kommt es im Crashfall zu einer Überschreitung des normalen Belastungsfalles, so legt sich der Außenteil nach Verbrauchen des Luftspaltes am Innenteil an, und der Sensor reagiert wie ein konventionelle Schraube. Weiter bewirkt das Design des Bolzens, dass er Gewichtskräfte, die durch den Fahrgast von oben eingeleitet werden, detektiert, aber Beschleunigungskräfte normal dazu, wie sie bei schneller Kurvenfahrt auftreten, ihn so gut wie gar nicht beeinflussen. Beim Topfbolzen sind auch im Gegensatz zu den anderen Versionen keine Unterlegscheiben notwendig, was zu einer erheblichen Verminderung der Hystereseverluste durch Reibung, Fertigungs- und Montagekosten führt. Dies wird ermöglicht, da der Sensor nicht mehr schwimmend in der Sitzkonstruktion fixiert ist, sondern mit der Sitzschiene fest verschraubt und gegen Verdrehen gesichert ist. Zusätzlich ist er auf der anderen Seite der Schenkel zur Höhenverstellung mit einem Bajonettverschluss befestigt und kann so die beiden Schenkel in einem definierten Abstand zueinander halten, so dass zwischen ihnen keine Reibung auftreten kann. Ist die seitliche Belastung zum Beispiel im Crashfall erheblich, so kann es auf Grund der Konstruktion dazu kommen, dass sich die beiden Schenkel elastisch verformen und berühren. Dies hat aber nach der Entlastung keinen bleibenden Einfluss. Weiter besteht die Möglichkeit, den Sensor vollgekapselt auszuführen, was ihn gegen Umwelteinflüsse sehr resistent macht.

4.5.1. Reproduzierbarkeit

Bild 58: Reproduzierbarkeit der Kennlinie , KMB Version 5.0

Zu erkennen ist die bekannte Kennlinie welche die Reproduzierbarkeit der Messung widerspiegelt. Die Ergebnisse resultieren aus drei Messungen. Die Reproduzierbarkeit ist kleiner 0,1%. Weiter zu erkennen ist, dass sich die Abweichung von der Regressionsgeraden gegenüber dem Ringbolzen und dem Bolzen der Version 2.0 wesentlich reduziert hat. Betrug beim Bolzen der Version 2.0 die maximale Abweichung 6,42 %, so hat sie hier beim Topfbolzen sowohl für Zug- wie auch Druckbelastung einen maximalen Wert von ca. 1,5%. Nehmen wir nun eine zu schützende Person mit 50 kg an, so würde ihr Gewicht um ca. 0,75 kg falsch ermittelt werden. Dies bedeutet eine Reduktion des Messfehlers auf mehr als ein Viertel gegenüber den KMB der ersten Ausführungen.

Bild 59: Belastungskennlinie für mehrfache Belastung, KMB Version 5.0

Diese Kennlinie zeigt die Reaktion des KMB auf die Belastung mit Druck- und Zugkräften. Es wurde der Bolzen mehrmals hintereinander mit unterschiedlichen Kräften (100, 200, 300 und 470N) belastet. Die Resultate der Belastungen für Druck und Zug wurden getrennt von einander ermittelt, weshalb im Punkt 0,0 keine Hysterese auftritt. Zu sehen ist, dass die Abweichung von der Regressionsgeraden gegenüber den Bolzen der vorangegangenen Versionen stark abgenommen hat.

4.5.2. Ansprechen des Überlastschutzes

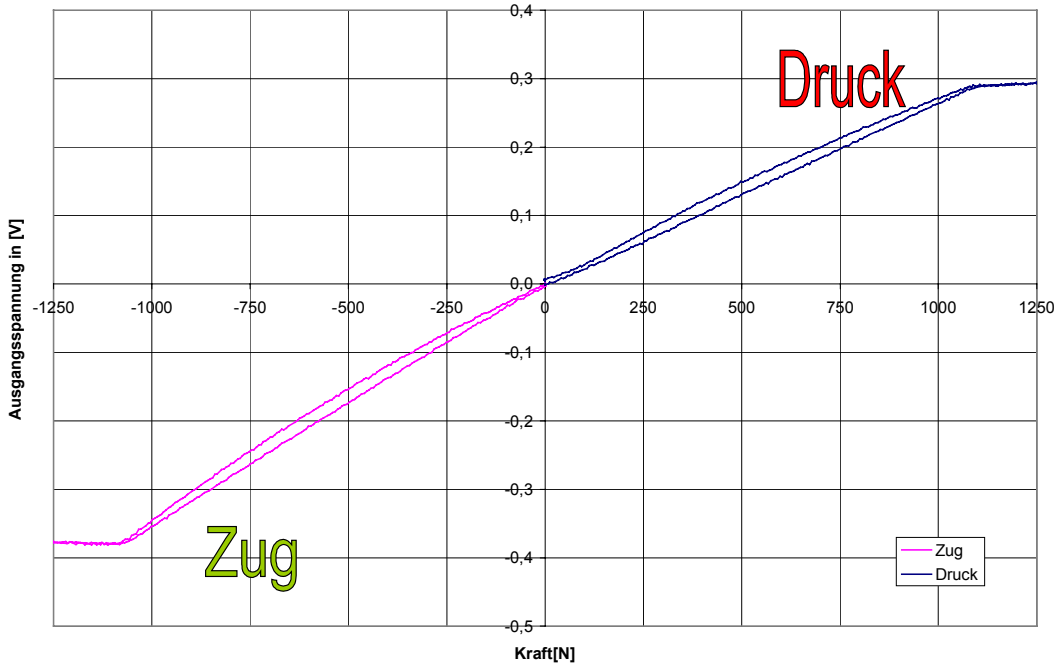


Bild 60: Ansprechen des Überlastschutzes, KMB Version 5.0

Bild 60 zeigt die Wirksamkeit des Überlastschutzes. Der Sensor wurde solange belastet, bis bei einer einwirkenden Kraft von ca. 1050 N die Schutzwirkung einsetzt. Überschreitet das Gewicht diesen Wert, dann ist der für die Bewegung der Glocke vorhandene Luftspalt verbraucht, und diese legt sich am Innenteil des Sensors an. Nun kann es zu keiner weiteren Verbiegung des Doppelbiegebalken kommen. Dadurch kann es auch zu keiner weiteren Verschiebung des Magneten gegenüber des Hallelements kommen und somit zu keiner Erhöhung der Ausgangsspannung.

4.5.3. Abnahme der Empfindlichkeit

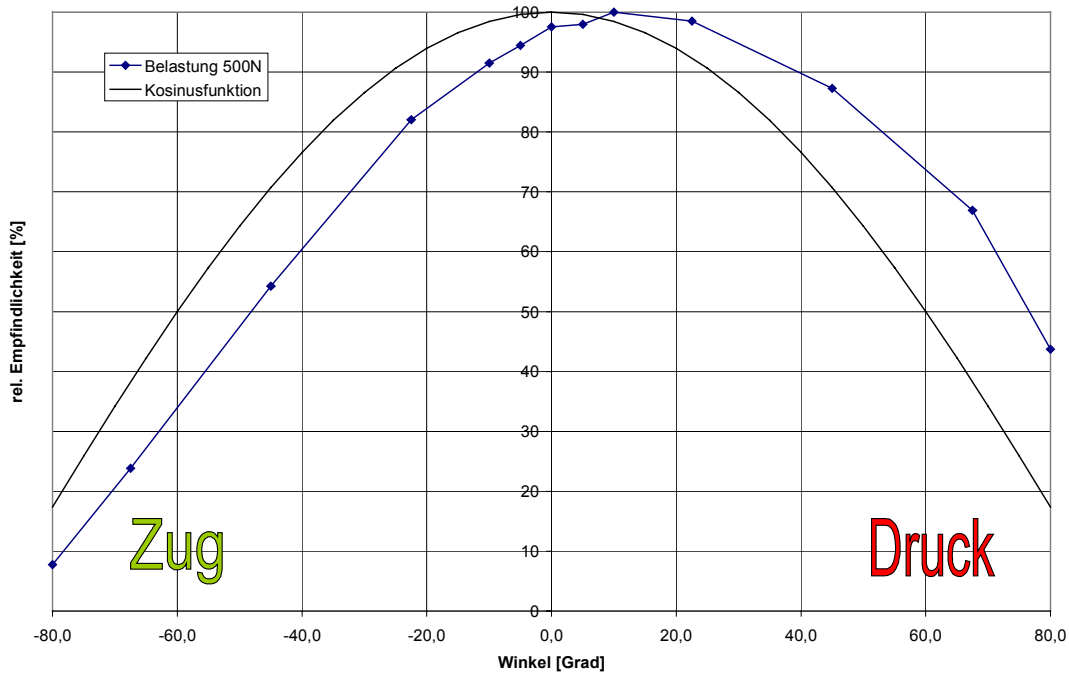


Bild 61: Abnahme der Empfindlichkeit , KMB Version 5.0

Für die Ermittlung dieser vom Ringbolzen bekannten bidirektionalen Kennlinie wurde der Sensor sowohl mit Druck- als auch Zugkräften in der Größe von 500N belastet. Wie aus der Kennlinie schön ersichtlich ist, nimmt die Empfindlichkeit bei Belastung mit Druck als auch Zug mit zunehmendem Winkel ab. Erkennbar ist, dass sich das Maximum der Empfindlichkeit nicht wie erwartet bei 0 Grad befindet, sondern bei ca. 10 Grad. Dieses Ergebnis ist nicht auf einen Messfehler zurückzuführen, sondern hat seinen Ursprung in der Konstruktion des Messbolzens. Der KMB beinhaltet nur ein Hallelement und ein Magnet. Bei einer Krafteinleitung in der Ruhelage, ohne Verdrehung, befindet sich der Magnet immer in einem konstanten Abstand zum Hallelement und bewegt sich bei Belastung seitlich an ihm vorbei. Wird eine Verdrehung bei gleichzeitiger Belastung des KMB durchgeführt, so kommt es zur Aufspaltung der Kraft in eine Normal- bzw. Tangentialkomponente. Dies bewirkt, dass ein seitlicher Versatz des Magneten zum Hallelement auftritt, also der Abstand variiert. Für unseren Fall bedeutet das: bei Druckbelastung nähert sich der Magnet, dem Sensor, und er wird mehr ausgesteuert und erscheint empfindlicher. Umgekehrtes gilt natürlich für Zugbelastung, die eine Vergrößerung des Abstandes bewirkt, und somit eine scheinbare Abnahme der Empfindlichkeit. Verwunderlich ist vielleicht auch, dass bei einer Belastung des Kraftmessbolzens mit einer Kraft, die unter 45 Grad einwirkt, der Versatz des Innenteils in die x- und y-Richtung nicht gleich groß ist. Dies kommt dadurch zustande, dass ja der Bolzen einem Doppelbiegebalken entspricht und dieser nur sensitiv auf Kräfte reagiert, die in der Messrichtung auf die Balken einwirken, nicht aber auf Querkräfte. Ergebnis dieser Untersuchung ist, das Hallelement und den Magnet symmetrisch, bezüglich der Längsachse des KMB, zu platzieren. Diese Zusammenhänge sind in der nachstehenden Abbildung noch einmal verdeutlicht.

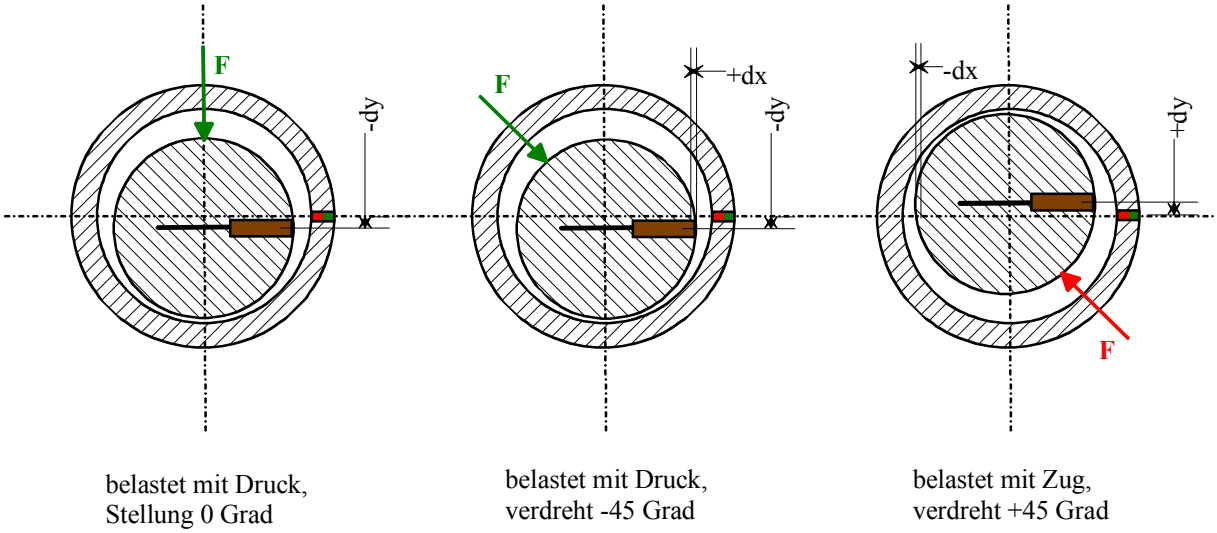


Bild 62: Querschnitt des KMB Version 5.0 bei Belastung

Dieser Einfluss könnte mit einem KMB nach der Reluktanzmethode verhindert werden, da dann das Magnet und das Hallelement im Mittelpunkt des Doppelbiegebalken liegen würde, und somit keine Asymmetrie bezüglich der Längsachse auftreten würde.

4.5.4. Einfluss der Sitzhöhenverstellung

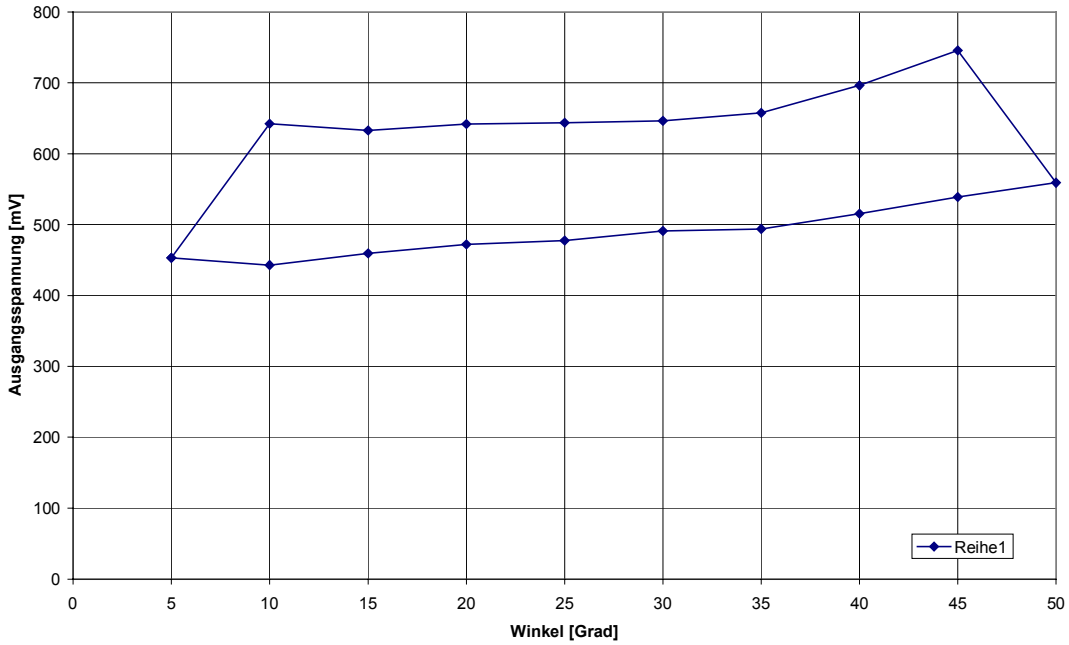


Bild 63 Hysterese bei der Höhenverstellung, KMB Version 5.0

Wie aus dem oben gezeigten Diagramm hervorgeht ist die Hysterese beim Hoch- bzw. Runterfahren des Sitzes erheblich. So weist sie einen Wert von 27,71% bezogen auf die maximale auftretende Amplitude auf. Wird der Wert auf den Messbereich von 200 kg bezogen ist die Hysterese 5,54 %. Dieses Ergebnis ist relativ unerwartet, da bei der Untersuchung des Kraftmessbolzens in der Prüfvorrichtung nahezu keine Hystereseerscheinungen auftrat.
Zwei Problemstellen wurden untersucht, um den negativen Einfluss auf die Ausgangsspannung des KMB zu extrahieren:

- Torsion des Innenteil
- Beeinflussung des magnetischen Kreises

Torsion des Innenteils:

Angenommen wurde, dass durch das Verdrehen der bolzenaufnehmenden Schenkel eine Torsion des Innenteils auftritt. Dies würde eine, wenn auch kleine Verdrehung zwischen Topf und messendem Element (Doppelbiegebalken) hervorrufen. Dadurch würde es zu einem radialen Versatz zwischen Hall-IC und Magneten kommen und ein Offset der Ausgangsspannung entstehen.

Aufgrund der Einbaubedingungen der KMB konnte dieser Einfluss aber ausgeschlossen werden. So sind die Bolzen an der Vorderseite des Sitzes um 180 Grad gedreht gegenüber der Rückseite eingebaut. Die Schenkel der Höhenverstellung bewegen sich aber in die gleiche Richtung bei der Verstellung, was aufgrund der Einbaubedingungen einen gegengleichen Offset an der Vorder- bzw. Rückseite bewirken müsste. Unter diesen Bedingungen würden sich die Offsets daher fast vollständig kompensieren. Da aber alle Offsetwerte positiv waren, resultiert daraus, dass der Einfluss andersartig zustande kommt. Dieser Sachverhalt ist im rechtstehenden Bild noch einmal herausgearbeitet. Dargestellt ist der Sitz von oben mit den vier Kraftmessbolzen samt Einbaurichtung. Die vier roten Pfeile zeigen die Richtung des Einflusses der Torsion beim Hochfahren.

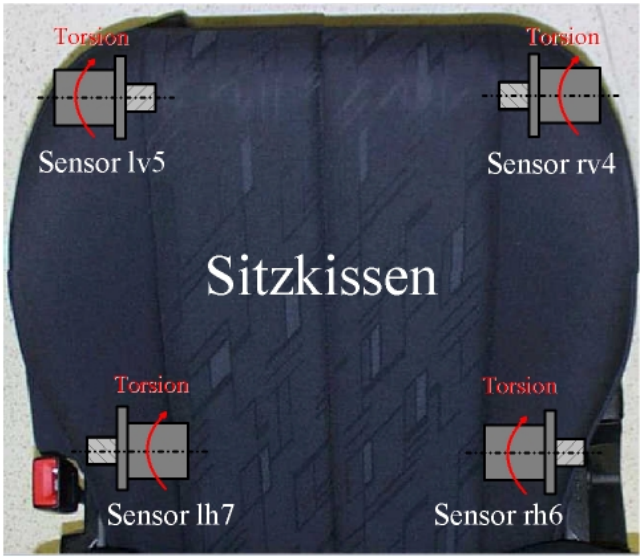


Bild 64 Einfluss der Torsion

Beeinflussung des Magnetischen Kreises:

Da die Bolzen aus einem nicht ferromagnetischen Material bestehen, sind sie nicht gegen magnetische Beeinflussungen aus der Umgebung abgeschirmt. Da der Magnet genau an der Stelle des Topfes angebracht ist an der auch die Schwinge gleitet, kommt es zu einer Beeinflussung durch diese. So ergibt sich eine Änderung des magnetischen Kreises zwischen den Positionen 1 und 2. In der Position 2 tritt ein Luftspalt auf und damit ein erhöhter magnetischer Widerstand. Daraus resultiert eine Variation der Ausgangsspannung des Hallelements. Der Fall wurde am Prüfstand nachgebildet. Es wurde der Sensor einmal ohne umgebendes ferromagnetisches Material vermessen und anschließend mit. Die Zusammenhänge sind in nachstehender Skizze herausgearbeitet. Rechts der Einfluss der Sitzkonstruktion und links das Schema der Ermittlung des Einflusses am Prüfstand.

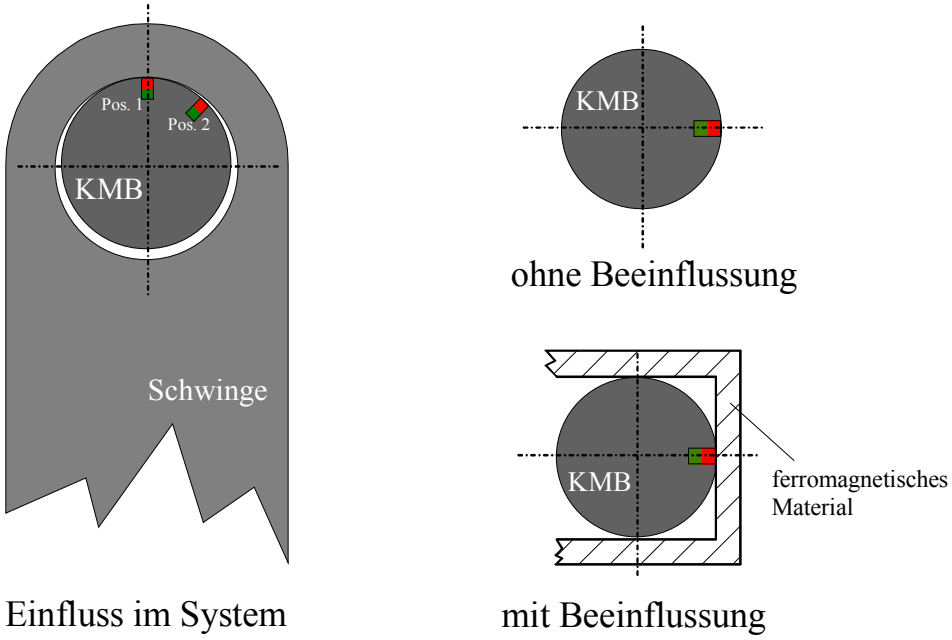


Bild 65 Beeinflussung des magnetischen Widerstandes

Die Ergebnisse aus der Messung waren:

0,25 V entsprachen 45 kg.

Durch die Beeinflussung trat ein Offset von 0,076 V auf. Wenn man die beiden Gleichungen zueinander ins Verhältnis setzt;

$$x = \frac{0{,}076 \cdot 45kg}{0{,}25} \approx 13{,}7kg$$

erhält man einen maximalen Fehler von 13,7 kg. In der Praxis war der Einfluss ungefähr 4kg pro Sensor. Ein Lösungsansatz um dieses Problem in den Griff zu bekommen ist wiederum die Reluktanzmethode. Bei dieser ist der Aufbau des Sensors bezüglich der Rotationsachse symmetrisch, wodurch dieser Effekt nicht mehr zu tragen kommen kann.

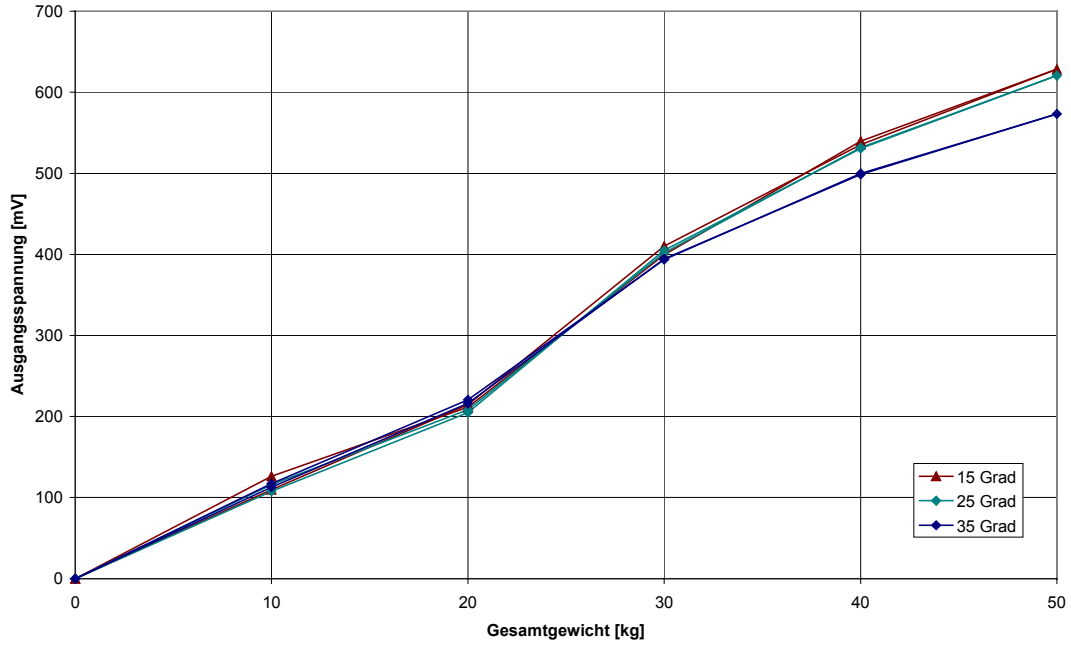


Bild 66 Hystere bei Be- und Entlasten der Sitzkonstruktion, KMB Version 5.0

Dass die Hysterese nicht von der Reibung in der Sitzkonstuktion abhängt, geht aus dem obigen Diagramm ebenfalls hervor. Hier wurde der Sitz in den Stellungen 15, 25 und 35 Grad wie im folgenden beschrieben belastet. Es wurden Gewichte in 10kg-Schritten beginnend von 0 kg bis 50 kg aufgelegt und anschließend wieder abgenommen. Die einzelnen Belastungsfälle des Sitzes wurden mit Lab View aufgezeichnet. Zu erkennen ist, dass fast keine Hysterese zwischen Be- und Entlasten auftritt. Die Kernaussage daraus ist, dass beim Topfbolzen in Verbindung mit der Sitzkonstruktion fast keine mechanische Hysterese auftritt. Um ein zufriedenstellendes Ergebnis bei der Ermittlung des Gewichtes mit dem KMB der Version 5.0 zu erreichen, müssen lediglich die Probleme der ferromagnetischen Beeinflussung mittels der neuen Konstruktion nach der Reluktanzmethode behoben werden.

5. Der Demonstrator

Es handelt dabei sich um eine Konstruktion, welche die Funktionalität des entwickelten Prototypen widerspiegeln und veranschaulichen soll. Er soll ein „Begreifen“ des Problems ermöglichen und ein relativ einfaches Abbild der realen Gegebenheiten darstellen.
Zwei Demonstratoren wurden im Rahmen der Diplomarbeit gefertigt. Bei der ersten Version handelt es sich um den in der Daimler-Chrysler E-Klasse integrierten Sitz, welcher mit vier Kraftsensoren der Versionen 2.0 und 5.0 ausgestattet wurde. Mittels einer Analogkarte, einer DAQ-Karte (Data Acquisition) von NI, Lab View und einem Notebook konnten die Messergebnisse visualisiert werden.

Um das entwickelte Produkt aber auch bei interessierten Kunden vorstellen zu können, wurden bei der Firma Bosch Wünsche geäußert den KMB in eine selbsterklärende Anordnung zu integrieren und mittels PDA oder Palm die Messergebnisse der Sensoren mit Hilfe eines Lab View VIs darzustellen. Das Frontpanel dieses Demonstrators wurde schon gezeigt. Da aber die PDA bzw. Palm mit Windows CE ausgestattet sind, und die Firma NI keinen Compiler anbietet, der das VI von Lab View für dieses Betriebssystem kompilieren kann, wurde ein Einkarten-PC als Alternative gewählt. Ein weiteres Problem das sich ergab war, dass die verwendete D/A-Karte einen PCMCIA-Slot erfordert, der in den meisten Handhelds nicht vorhanden ist. Einzige verfügbare Geräte waren ein Pocketcomputer von HP und ein Palm.

5.1. Sitzdemonstrator

Im Bild ist der modifizierte Sitz dargestellt. Er ermöglicht es, das Gewicht in verschiedenen Belastungsfällen zu ermitteln. Dieser Demonstrator kann sowohl auf Ausstellungen, als auch im Auto integriert, gezeigt werden. Die Daten werden mittels Notebook ermittelt. Zur Darstellung der wichtigsten Informationen während der Präsentationen wurde an den tragbaren PC ein externes Display angeschlossen und am Armaturenbrett montiert. Zur Präsentation außerhalb des Kraftwagens wird der Sitz mit einem 12V Netzteil versorgt um alle elektrischen Verstellungen des Sitzes durchführen zu können. Er erlaubte es, die diversen auftretenden Einflüsse wie, die durch die Sitzkonstruktion, den Kraftwagen, die zu schützende Person und den Gurt zu untersuchen. Es können Analysen bezüglich der Höhenverstellung, Fahrbahneinfluss, Out Of Position, Miss Use durchgeführt werden.

Bild 67: Der Sitz-Demonstrator

5.2. Demonstrator des Messprinzips

5.2.1. Das Messelement

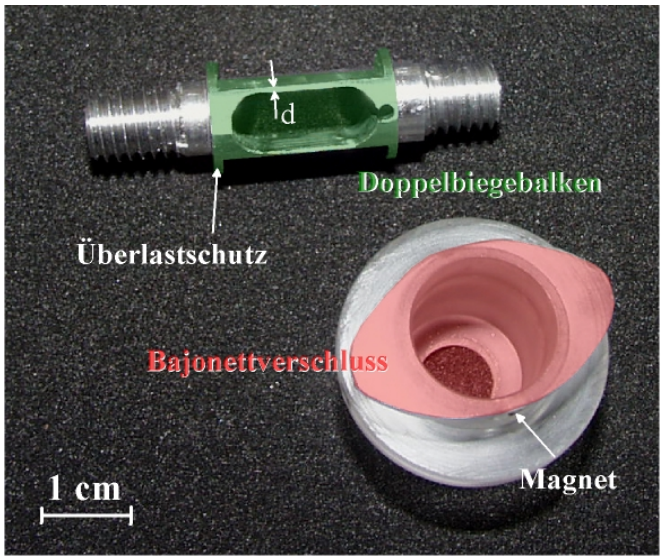


Bild 68: Messelement

Links ist das Messelement im nicht zusammengebauten Zustand abgebildet. Es handelt sich dabei um einen modifizierten KMB der Version 5.0. Zu sehen sind das Messelement aus Aluminium, welches einem Doppelbiegebalken gleicht und der Topf aus Plexiglas mit Magnet. Dieser weist einen sogenannten Bajonettverschluss auf, der die Montage des Elements erlaubt. So wird der Sensor durch eine dem Bajonettverschluss ähnliche, elliptische Öffnung eingeführt und dann um 90 Grad verdreht, was eine Arretierung des Sensors erlaubt. Diese Konstruktion war nötig um Reibung zwischen den beiden Schenkeln aus Plexiglas bzw. in der Sitzkonstruktion zu vermeiden, da diese das Messergebnis negativ beeinflussen würde. Da der reale KMB im Normalfall in einem Bereich bis ca. 50 kg misst, wurde das messende Element beim Demonstrator um das zehnfache empfindlicher ausgelegt. So erlaubt es Kräfte bis ca. 5 kg zu ermitteln. Dies konnte relativ einfach realisiert werden, in dem die Stegbreite (d) der Balken des KMB-Innenteils bis zu einer Dicke von 0,5 mm deutlich vermindert wurde. Zusätzlich wurde auch noch Aluminium anstatt Edelstahl verwendet, da dies eine wesentlich geringere Steifigkeit aufweist und ebenfalls nicht magnetisch ist. Ein nicht magnetischer Werkstoff ist unerlässlich, da es sonst zu einem magnetischen Kurzschluss im Inneren kommen würde, was eine wesentliche Verkleinerung des Ausgangssignals des Hallsensors bewirken würde. Der Außenteil des Sensors wurde aus Plexiglas gefertigt und poliert, damit ein Beobachten des Messelements während eines Belastungszyklus möglich ist. Sehr interessant ist der Fall des Überlastschutzes, in dem sich die Glocke am Innenteil anlegt.

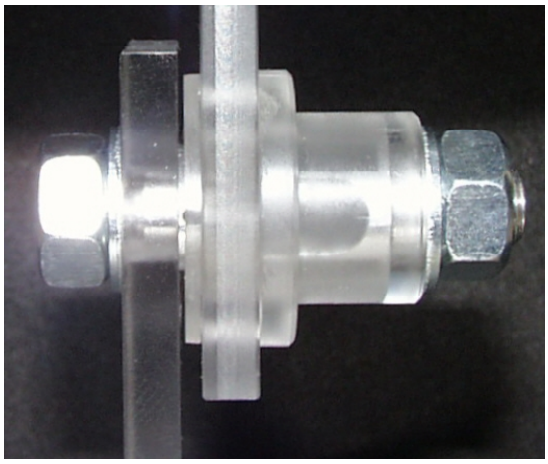


Bild 69: Detailansicht des Demonstrators

5.2.2. Der Demonstrator

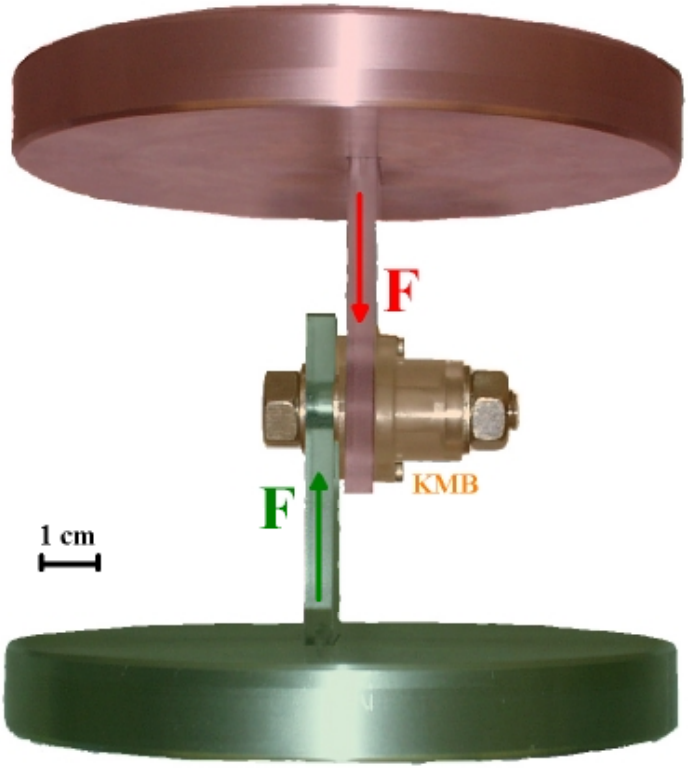


Bild 70: Demonstator für die Funktionsweise

Die Funktionsweise des Demonstrators ist ähnlich einer Waage. Er besteht aus zwei Aluminiumscheiben, wobei eine als Stativ und die andere der Gewichtsaufnahme dient. Die beiden Teile sind farblich hervorgehoben. An den beiden Teilen sind Rechteckprofile angebracht, welche der Krafteinleitung in den Sensor dienen. Diese beiden Teile sind aus Plexiglas gefertigt, um den Blick auf den KMB und damit die repräsentative Wirkung nicht einzuschränken. Um die Bidirektionalität des Sensors zu zeigen, kann der Demonstrator wie eine Waage mit Gewichten belastet oder wie ein Expander auseinandergezogen werden. Wirkt nun auf die Oberseite eine Gewichtskraft, so kann ihre Größe mit Hilfe der Messelektronik und der verwendeten Software Lab View in eine Zahl umgewandelt und auf einem Display angezeigt werden. Getestet wurde, in dem ein bekanntes Gewicht aufgelegt wurde, und der Skalierungsfaktor solange verändert wurde, bis Anzeige und Wert des Gewichtes überstimmten. Danach ergab sich eine Genauigkeit kleiner +/- 0,02 kg. Dies entspricht bei einem Messbereich von 2kg einem Messfehler von 1%.

Das verwendete Frontpanel ist im nachstehenden Bild gezeigt. Zu sehen ist das Abbild des Demonstrators und die anzeigenden Elemente. Zu erkennen ist die Darstellung des Gesamtgewichts mit Hilfe einer Füllstandsanzeige. Hier wird das Gewicht immer mit einem positiven Vorzeichen dargestellt. Der Verlauf der Kraft kann im links eingefügten Zeitdiagramm verfolgt werden. Die Eintragung der Kraft wird vorzeichenrichtig durchgeführt, um Zug- und Druckkräfte darzustellen. Durch drücken der Taste „Relativer Nullabgleich“ kann zu einem beliebigen Zeitpunkt die Anzeige für Gewicht und Kraft auf Null gesetzt werden. Das Bedienelement „Steigung Hall“ erlaubt es, eine Kalibrierung des Systems durchzuführen. Dies erfolgt indem ein bekanntes Gewicht aufgelegt wird und dann der Faktor so verstellt wird, dass das tatsächliche mit dem angezeigten übereinstimmt. Dies hat den Vorteil, dass etwaige Toleranzen in der Fertigung des KMB kompensiert, bzw. KMB mit unterschiedlicher Steifigkeit eingesetzt werden können.
In **Bild 72** ist die Funktionsweise des Backpanels ersichtlich. Die wichtigsten Bereiche, wie das Einlesen der Daten, der Skalierung, Nullabgleich und die Ausgabe der Daten in die anzeigenden Elemente des Frontpanels sind hervorgehoben.

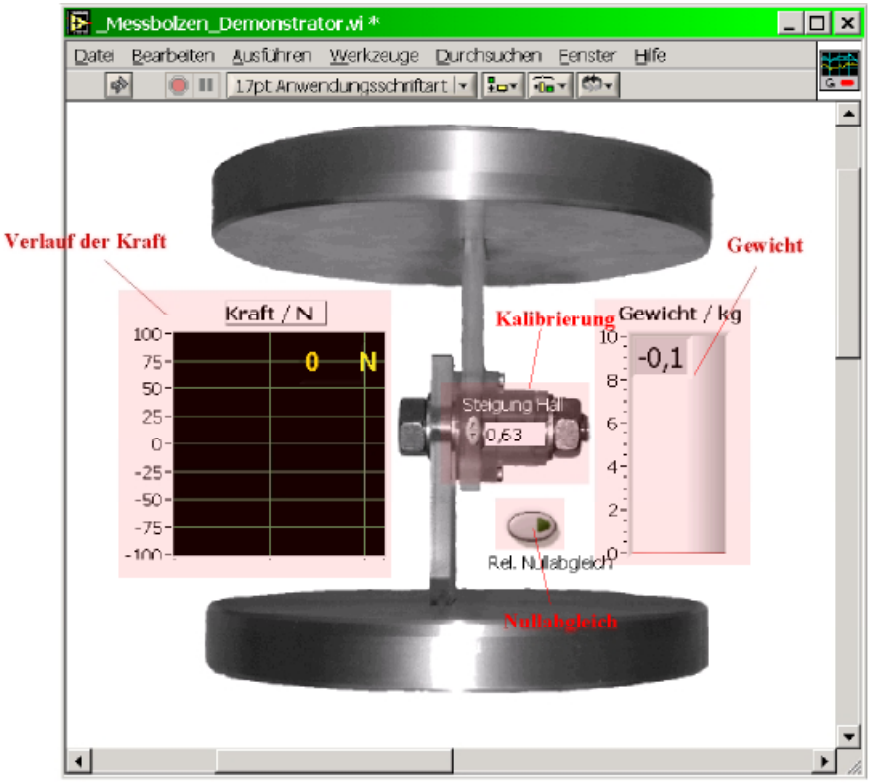


Bild 71: Frontpanel des Funktionsdemonstrators

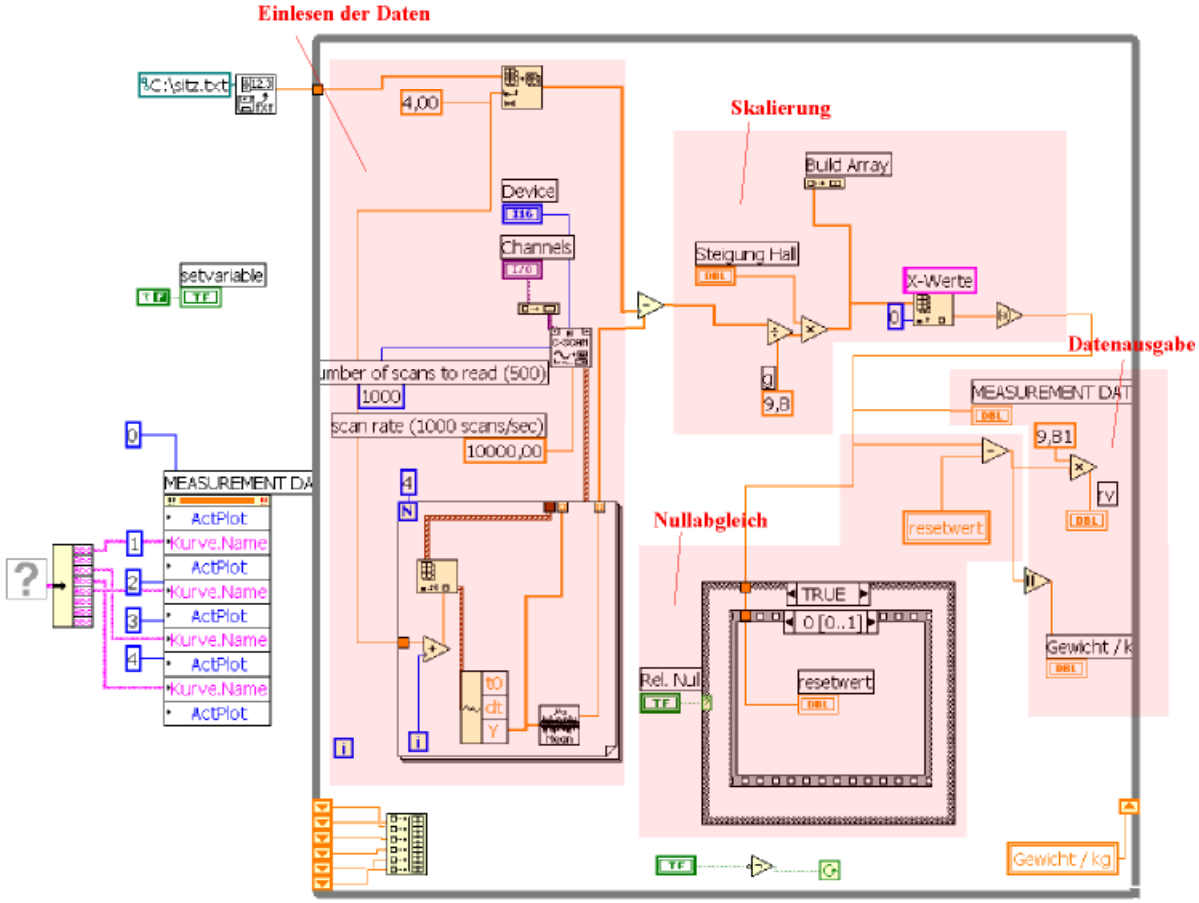


Bild 72: Backpanel

6. Ergebnis und Ausblick:

Ergebnis:

Aufgrund von immer wieder auftretenden Verletzungen bis hin zum Tod, bei der Airbagauslösung insbesondere im Zusammenhang mit relativ kleinen Personen bzw. Reboard-Kindersitzen, welche sich relativ nahe im Anschlussbereich des Airbags befinden, sowie der Reaktion des Gesetzgebers auf diesem Umstand, entstand die Notwendigkeit der Gewichtssensierung der Insassen auf dem Fahrer- und Beifahrersitzes für die fallspezifische Auslösung im Crashfall. Als Ergebnis der im Rahmen der Diplomarbeit bei der Firma Bosch in Stuttgart durchgeführten Forschung entstand ein nahezu serienreifer bidirektionaler, vorzeichenrichtig messender, auf dem klassischen Doppelbiegebalken beruhender Kraftmessbolzen heran, welcher die Vorteile bietet, mit relativ geringem konstruktiven Eingriffen und somit geringen finanziellen Aufwand in die bestehende Sitzkonstruktion integrierbar zu sein. Seine weiteren Vorzüge liegen in der Möglichkeit der Selbst- und Funktionsdiagnose, im Preis, Kompaktheit, Lebensdauer, Unempfindlichkeit gegen Umwelteinflüsse, Robustheit und dem automatischen Überlastschutz im Crashfall. Durch die variable Konzeption des Kraftmessbolzens ist eine Anpassung an viele Anforderungen der Kraftmesstechnik in einem Höchstmass gegeben. Durch den implementierten Hallsensor der Firma Melexis ist eine komfortable Abstimmung an verschiedene Einsatzgebiete und somit eine Gewichtsklassifizierung in wählbaren Grenzen möglich. Unterstrichen wird dies durch die bei Bosch durchgeführten Simulationen und Messungen anhand zweier mit Prototypen bestückten Demonstratoren. Aufgrund der Brisanz der Thematik stand man in ständigen Verhandlungen mit diversen Automobil- bzw. Sitzherstellern.

Als weiteres wichtiges Ergebnis liegen neue Erkenntnisse sowohl in theoretischer wie auch messtechnischer Form über die Eigenschaften des Messverfahrens vor. Der bei der Simulation gewonnene Überblick über das Verhalten des Magnetkreises erleichtern in Zukunft die Konstruktion neuer Messsysteme. Auch der während der Diplomarbeit untersuchte Zusammenhang zwischen den einwirkenden Kräften und deren Auswirkungen auf den Kraftmessbolzen können in Zukunft helfen, noch intelligentere Kraftmesssysteme hervorzubringen.

Durch die Betrachtung der gesamten Messkette konnten die einzelnen Komponenten analysiert werden, die zur Signalgenerierung beitrugen. Damit war es möglich, Bedingungen zu definieren, um die zu klassifizierenden Personen, möglichst selektiv messen zu können. Dabei wurde unter anderem aufgezeigt, wie der KMB prinzipiell beschaffen sein muss, dass durch eine geeignete Konstruktion möglichst wenige parasitäre Einflüsse durch diesen selbst und die Sitzkonstruktion ins Messergebnis mit ein fließen.

Neben der erfolgreichen Bearbeitung des gestellten Themas war es mir möglich, meine persönlichen Fachkenntnisse um viele interessante Erfahrungen zu ergänzen. Durch die breit angelegte Aufgabenstellung konnte ich meine, während des Studiums erworbenen theoretischen Kenntnisse um praktisches Wissen, besonders im Bereich der Messtechnik, ergänzen. Interessant war der Entwurf und die Planung der einzelnen Versionen der KMB, sowie die anschließende Komplettierung, Vermessung und die Aufbereitung des erworbenen Wissens in Form der Diplomarbeit oder Präsentationen für diverse Besprechungen und Berichte. Das interdisziplinär ausgerichtete Studium an der TU Graz war mir dabei eine große Hilfe.

Ausblick:

Als größte Herausforderung sehe ich die Weiterentwicklung des Kraftmessbolzens der Version 5.0 bis zur Serienreife. Zwei Probleme sind zu beheben:

- Gleiche Abnahme der Empfindlichkeit für Druck und Zug,
- Einbringung von Magneten und Hall-IC.

Ein möglicher gangbarer Weg zur Generierung des Messsignals wäre das Reluktanzverfahren. Dieses beruht darauf, dass sich durch die Bewegung des Topfes der Widerstand des Magnetkreises je nach Auslenkung verändern. Es würde keine Unsymmetrie bezüglich der Rotationsachse des KMB auftreten und damit auch eine ideale Kennlinie in Bezug auf die Abnahme der Empfindlichkeit erreicht (vgl. **Bild 61**). Damit wäre der Umstand behoben, dass das Maximum der Empfindlichkeit nicht bei Null Grad auftritt.

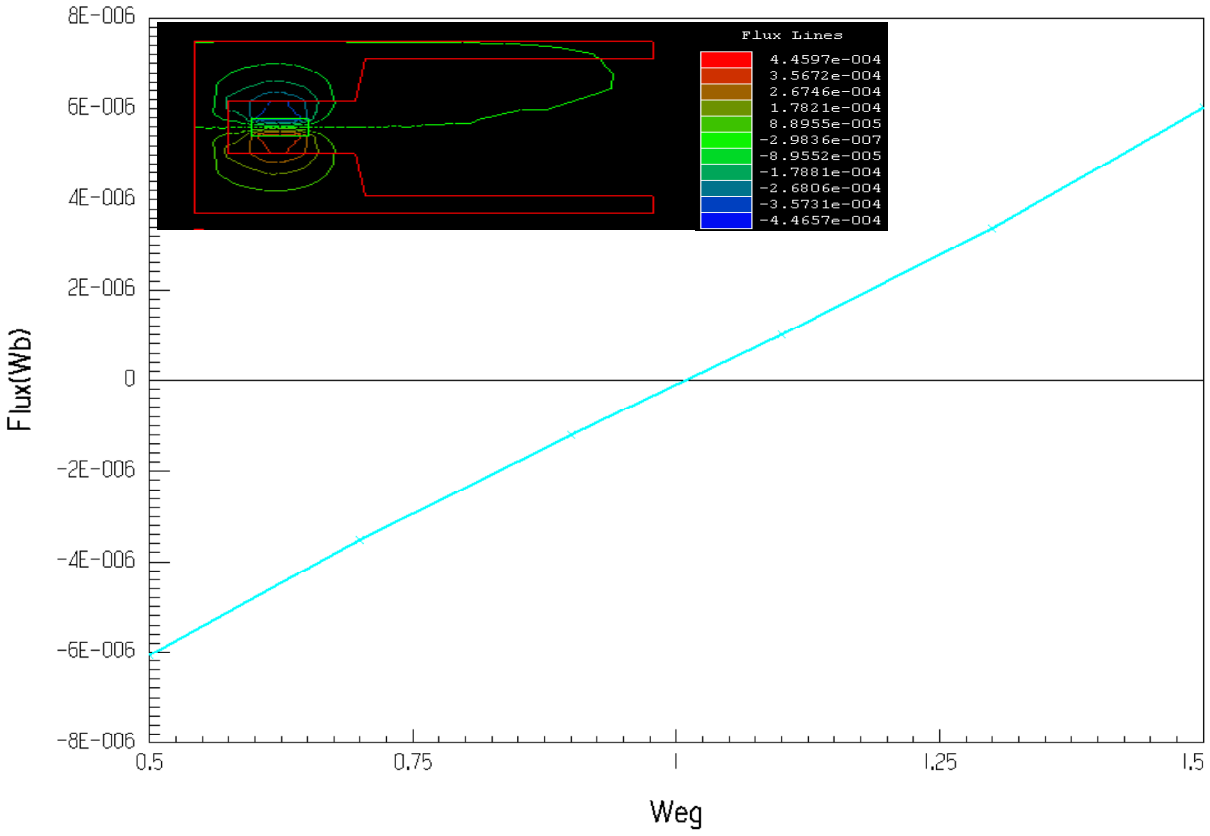


Bild 73 Verlauf des Flusses, Querschnitt durch den Topf des KMB 5.0

In **Bild 73** ist die geometrische Anordnung der Konstruktion des KMB inklusive der auftretenden Feldlinien und die zugehörenden Simulationsergebnis in MAXWELL zu sehen. Diese wurden von meinem Betreuer Anton Dukart ausgearbeitet und zur Verfügung gestellt. Zu sehen ist der lineare Zusammenhang zwischen dem auftretenden Fluss im Hall-IC, welcher durch die Abstandsänderung zwischen Topf und Innenteil des KMB entsteht, bei verschiedenen Belastungsfällen. Der auftretende Fluss kann nun wieder ein elektrisches Signal im verwendeten Hall-IC generieren.

Weiter die Entwicklung einer geeigneten Methode den Hallsensor und das zugehörende Magnet in das bestehende System von Topf und Doppelbiegebalken möglichst einfach und kostengünstig zu integrieren. Derzeit muss der Magnet mühsam in eine am Topf angebrachte Bohrung eingeklebt werden. Das Hallelement ist ebenfalls relativ zeitaufwendig im Inneren des Doppelbiegebalkens zu verkleben. Ein denkbarer Lösungsansatz ist Hallelement und Magneten in einem gemeinsamen Kunststoffträger zu vereinen und von hinten durch die Bohrung in den Bolzen einzuführen. Sensor und Magnet würden bei diesem Verfahren in einem gemeinsamen Kunststoffteil vergossen werden, wie im **Bild 74** zu sehen ist

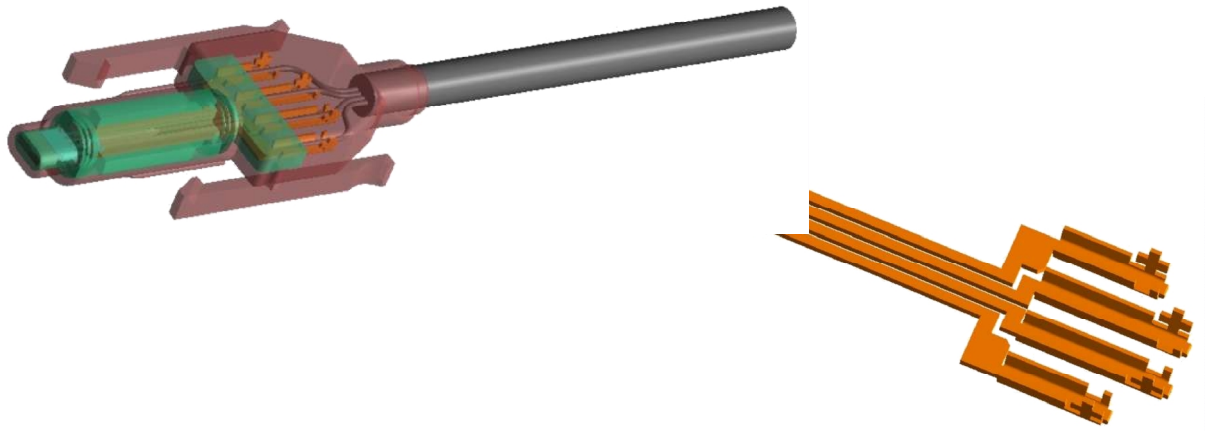


Bild 74 Innenteil des Topfbolzens

Die Konstruktionen wurden von der Abteilung CS-EM/ECS erdacht und die Bilder zur Verfügung gestellt. Links ist die fertig vergossene Konstruktion der Messeinheit zu sehen. Dieser Teil wird von hinten in den Topfbolzen eingeschoben und durch die seitlichen Widerhaken in Position gehalten. Rechts der Magnet und der Hallsensor inklusive der Leiterbahnen zum Anschluss des Kabelschwanzes. Die einzelnen Teile des KMB sind in nachfolgender Abbildung dargestellt.

Zu sehen ist der Innenteil mit Doppelbiegebalken (blau), der Topf (hellgrün) und das Messelement inklusive Magneten, Hallelement, Anschlusskabel und Verzahnung (dunkelgrün).

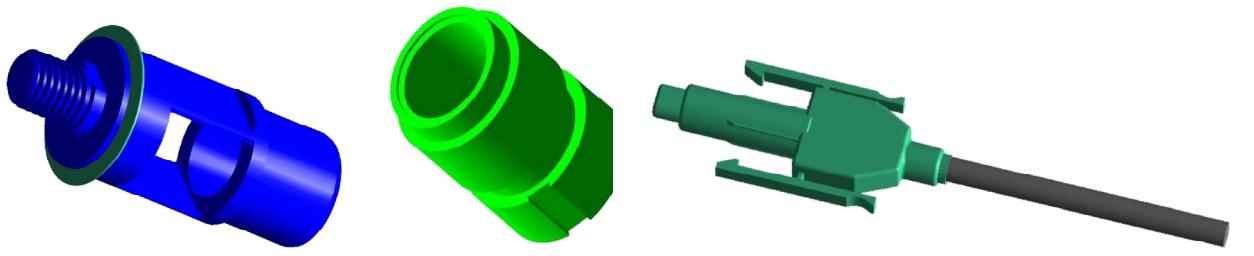


Bild 75 KMB Version 5.0, Einzelteile

Der fertig zusammengesetzte Kraftmessbolzen würde dann wie im nachstehenden Bild gezeigt aussehen.

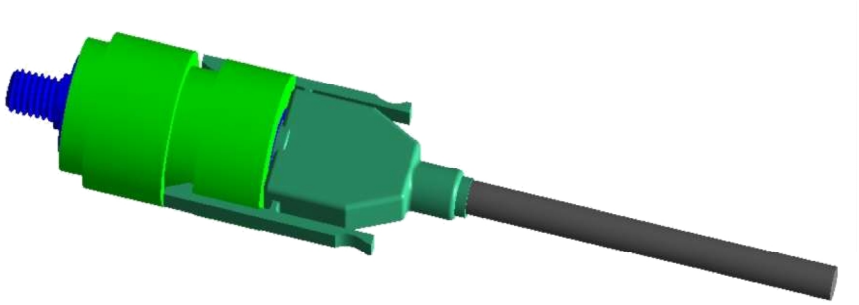


Bild 76 KMB Version 5.0, zusammengesetzt

Bei genauer Betrachtung dieser Konstruktion fällt auf, dass einerseits die Nase des Bajonettverschlusses fehlt. Andererseits würde ein gewinkeltes Anschlusskabel aufgrund der mangelnden Platzverhältnisse wesentlich geeigneter erscheinen.

Um die Kosten der Endfertigung zusätzlich zu senken, ist es vorstellbar, die Glocken der KMB in die Schenkel der Sitzhöhenverstellung zu integrieren, indem das verwendete Material in eine geeignete Form gepresst würde.

Das für die Weiterentwicklung des Messsystems notwendige Interesse ist, wie aus Besprechungen mit Daimler Chrysler bzw. der Keiper Recaro Gruppe hervorgeht, auf jeden Fall vorhanden.

7. Verwendetet physikalische Symbole

Mechanische Größen

d	Dicke des Plättchens	[m]
ε	Dehnung	[m]
A	Fläche	$[m^2]$
p	Druck	$[kgm^{-1}s^{-2}]=[Nm^{-2}]=[VAsm^{-3}]$
F	Kraft	$[kgms^{-2}]=[N]=[VAsm^{-1}]$
m	Masse	$[kg]=[VAs^3m^{-2}]$
a	Beschleunigung	$[ms^{-2}]$
g	Erdbeschleunigung	$[ms^{-2}]$

Elektrische Größen

U	Elektrische Spannung, Potential	$[V]=[kgm^2A^{-1}s^{-3}]$
R	Ohmscher Widerstand	$[\Omega]=[1VA^{-1}]$
I	Strom	[A]
Q	Ladung	[As]=[C]
U_H	Hallspannung	[V]
R_H	Hallkonstante	$[m^3As^{-1}]$
ρ	spezifischen Widerstrand	$[\Omega m]$

Magnetische Größen

B	magnetische Flussdichte	$[kgs^{-2}A^{-1}]=[Vs/m^2]=[T]$
Φ	magnetischer Fluss	$[kgm^2s^{-2}A^{-1}]=[Tm^2]=[Vs]$
H	magnetische Feldstärke	$[Am^{-1}]$
Θ	magnetische Durchflutung	[A]
L	Induktivität	$[kgm^2s^{-2}A^{-2}]=[\Omega s]=[H]$
D	Verschiebungsflussdichte	$[Asm^{-2}]=[Cm^{-2}]$
R_m	magnetischer Widerstand	$[A^2s^2kg^{-1}m^{-2}]=[H^{-1}]$
V	magnetische Spannung	[A]
μ	Permeabilität	$[kgms^{-2}A^{-2}]=[TmA^{-1}]=[VsA^{-1}m^{-1}]$
μ_0	Permeabilität des Vakkums	$[kgms^{-2}A^{-2}]=[TmA^{-1}]=[VsA^{-1}m^{-1}]$
μ_R	relative Permeabilität	[1]

8. Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Position des Fahrzeuginsassen 7
Bild 2: Insassensensierung: Spezifikation des Alters, Größe und Gewichts 9
Bild 3: Innenraumüberwachung mit optischen Methoden 10
Bild 4: Summenbildung des Gewichts 13
Bild 5: Darstellung der verschiedenen Versionen des KMB 15
Bild 6: Einbauplatz des KMB Frontansicht 16
Bild 7: Einbauplatz des KMB in Rückansicht 17
Bild 8: Ansicht der Messtechnik auf der Unterseite des Demonstrators 18
Bild 9: Belastungsfälle Topfbolzen, Wegänderung, auftretende Spannungen 19
Bild 10: Hallsensor, homogener und inhomogener Elektronenfluss durch das Halbleiterplättchen und geometrische Anordnung 20
Bild 11: Funktionsweise des analogen Hallelements 21
Bild 12: Verwendeter Hallsensor KSY 14 22
Bild 13: MLX 90251 Pinbelegung, Blockschaltbild 23
Bild 14: Wheatstone´sche Brückenschaltung 25
Bild 15: Voll-, Halb-, und Viertelbrücke 27
Bild 16: Einfluss der Temperatur 28
Bild 17: Dehnmessstreifen 29
Bild 18: Auslösevorgang des Airbags 30
Bild 19: Aufbau eines Steuergerätes 31
Bild 20: Blockschaltbild des Steuergerätes 32
Bild 21: konventionelle, serielle Datenübertragung 33
Bild 22: Prinzip der Krafteinleitung bei der Versuchsanordnung bzw. in der Sitzkonstruktion 36
Bild 23: Hysterese 37
Bild 24: Komponenten der Kraft 38
Bild 25: Messaufbau 39
Bild 26: Messfenster 42
Bild 27: Datenfluss im MGC-Beam 43
Bild 28: Prinzip der Sitzhöhenverstellung 44
Bild 29: Einbauplatz der Teflonscheiben 45
Bild 30: Problemstelle in der Sitzkonstruktion 45
Bild 31: Messaufbau: Labor - KFZ 46
Bild 32: Frontpanel 48
Bild 33: KMB, Version 1.0, unidirektional 50
Bild 34: Sensor der Version 2.0, unidirektional 51
Bild 35: Kennlinie KMB 2.0 Reproduzierbarkeit der Kennlinie und Abweichung bei α=0 Grad für 1P-Auflage. 52
Bild 36: Kennlinie KMB 2.0 53
Bild 37: Kennlinie KMB 2.0 54
Bild 38: Kennlinie KMB 2.0 55
Bild 39: Kennlinie KMB 2.0 56
Bild 40: Kennlinie KMB 2.0 57
Bild 41: Skalierungsfaktor für das Gesamtgewicht ohne Teflonscheiben für KMB Version 2.0 58
Bild 42: Abweichung in % von der Regressionsgeraden für die einzelnen Winkelstellungen als Funktion des Gesamtgewichtes ohne Teflonscheiben für KMB Version 2.0 59
Bild 43: Abweichung des Gesamtgewichtes in Bezug auf die Regressionsgerade bezogen auf den MB (200kg) ohne Teflonscheiben für KMB Version 2.0 60
Bild 44: Abweichung des Gesamtgewichtes in Bezug auf die Regressionsgerade bezogen auf den MB (200kg) mit Teflonscheiben für KMB Version 2.0 61
Bild 45: Reproduzierbarkeit des Gesamtgewichtes mit Teflonscheiben und Belastung mit 40 kg bei einmaligem Nullabgleich für KMB Version 2.0 62
Bild 46: Hysterese beim Hoch- und Runterfahren des Sitzes mit Teflonscheiben für KMB Version 2.0 63
Bild 47: Hysterese in % bezogen auf 500N für 1P- und 2P-Aufnahme ermittelt für 250N für KMB Version 2.0 64
Bild 48: Autobahn für KMB Version 2.0 65
Bild 49: Bremsen und Beschleunigen für KMB Version 2.0 65
Bild 50: Steinplatten für KMB Version 2.0 66
Bild 51: KMB, Version 3.0; unidirektional 68

Bild 52: MB Version 4.0 (Ringbolzens), bidirektional; Außenteil, Innenteil 69
Bild 53: Reproduzierbarkeit der Kennlinie, KMB Version 4.0 70
Bild 54: Belastungskennlinie für mehrfache Belastung, KMB Version 4.0 71
Bild 55: Abnahme der Empfindlichkeit , KMB Version 4.0 72
Bild 56: Verständnisskizzen zur Erklärung der auftretenden Effekte 73
Bild 57: KMB Version 5.0 (Topfbolzen), bidirektional; gesamt, Innenteil - Wägelement, Frontalansicht 74
Bild 58: Reproduzierbarkeit der Kennlinie , KMB Version 5.0 71
Bild 59: Belastungskennlinie für mehrfache Belastung , KMB Version 5.0 76
Bild 60: Ansprechen des Überlastschutzes 77
Bild 61: Abnahme der Empfindlichkeit , KMB Version 5.0 78
Bild 62: Querschnitt des KMB Version 5.0 bei Belastung 79
Bild 63 Hysterese bei der Höhenverstellung 80
Bild 64 Einfluss der Torsion 81
Bild 65 Beeinflussung des magnetischen Widerstandes 82
Bild 66 Hystere bei Be- und Entlasten der Sitzkonstruktion 83
Bild 67: Der Sitz-Demonstrator 84
Bild 77: Messelement 81
Bild 78: Detailansicht des Demonstrators 81
Bild 79: Demonstator für die Funktionsweise 82
Bild 71: Frontpanel des Funktionsdemonstrators 87
Bild 72: Backpanel 87
Bild 73 Verlauf des Flusses, Querschnitt durch den Topf des KMB 5.0 89
Bild 74 Innenteil des Topfbolzens 90
Bild 75 KMB Version 5.0, Einzelteile 90
Bild 76 KMB Version 5.0, zusammengesetzt 91
Bild 80 Blockschaltbild Analogkarte 101
Bild 81 Anschluss der Halbbrücke an die Analogkarte 102
Bild 82 Aufbau der Analogkarte 102
Bild 83 Schnittstellenauswahl 103
Bild 84 Geräteeinstellungen 104
Bild 85 Kanaleinstellungen 104
Bild 86 Aufnehmeranpassung 104
Bild 87 Einstellung der Messzeit 105
Bild 88 Konfigurationsfenster in MAX 106
Bild 89 Analog-Input-Konfigurationsfenster in MAX 106
Bild 90 Konfigurationsfenster des DMS in MAX 107
Bild 91 Testfenster 107
Bild 92 Functionpanel 108
Bild 93 Topfbolzen, KMB Version 5.0 Außenteil 118
Bild 94 Topfbolzen, KMB Version 5.0, Innenteil 119
Bild 95 Ringmessbolzen, KMB Version 4.0, Außenteil 120
Bild 96 Ringmessbolzen, KMB Version 4.0, Innenteil 121
Bild 97 KMB Version 3.0 122
Bild 98 KMB Version 2.0 123

9. Quellenverzeichnis

Im Quellenverzeichnis sind die Quellen der übernommnen Abbildungen, Textauszüge und Materialkonstanten angegeben.

NI: *User Manual SC-2043-SG*, 1995/ 1996

www.infineon.com/products/sensors

www.melexis.com

TI: *Databook Linear Circuits* – Operational Amplifiers

10. Literaturverzeichnis

Bei der Erstellung der Diplomarbeit wurden neben Datenbüchern und Skripten folgende Literatur verwendet.

Keil S: *Beanspruchungsermittlung mit Dehnungsmessstreifen*. CUNEUS Verlag (1995)

Jamal R., Pichlik H: *Lab View – Programmiersprache der vierten Generation*. Prentice Hall Verlag (1997)

Linsmeier D: *Sensor Systems for the Automobile*. Moderne Industrie Verlag (1998)

Tietze U., Schenk Ch.: *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer Verlag (1990)

- : *Benutzerhandbuch: iGrafx Designer*. Micrografx (1999)

Drewitz F., *Autoelektrik, Autoelektronik.* Vieweg Verlag (1998)

Siegert E., *Fahrsicherheitssysteme.* Vieweg Verlag (1998)

Tränkler H., Obermeier E., *Sensortechnik.* Springer Verlag (1998)

Czichos H., *Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften*. Springer Verlag (1991)

11. Anhang

11.1. Pflichtenheft

Sache

Vorentwicklung eines Kraftmessbolzens zur Sitzgewichtssensierung für zukünftige Airbagsysteme (zur Unterscheidung der Sitzbelegung zwischen einem Kind und einer sog. 5%-Frau)

Merkmale

- Spannungsversorgung über Steuergerät (5 V)
- Schnittstelle: Analogspannung oder PWM-Signal, lineare Kennlinie
- Bestimmte mechanische Spezifikationen sind den Unterlagen von AB/PSE bzw. AB/ESS entnommen.
- Die Sitzgewichtssensierung muss die gesetzliche Vorschrift FMVSS208 erfüllen.

1.0 Mechanische Anforderungen

1.1 Konstruktion und Aufbau

Der Kraftmessbolzen muss so ausgelegt werden, dass er pro Sitz mehrfach verbaut werden kann. Die mechanischen Abmessungen sind entsprechend der Belastung und den Gegebenheiten am Common Seat bzw. vergleichbaren Sitzkonstruktionen nach Optimierungsaspekten bzgl. Funktion und Kosten auszulegen. Für den elektrischen Anschluss ist ein max. 4-pol. Stecker bzw. ein Kabelschwanz mit max. 4 Litzen vorzusehen.
Zunächst sollen sowohl ein DMS-Abgriff als auch ein Hall-IC-Abgriff zur Erfassung der Dehnung bzw. Auslenkung betrachtet werden.

1.2 Einbauort

Der Kraftmessbolzen dient als Ersatz für die Befestigungsschrauben des Sitzes mit den Verstellschienen. Bei Sitzen mit Höhenverstellung muss besonders darauf geachtet werden, dass die Gewichtskraft immer senkrecht auf die auszulenkenden Schenkel des Bolzens einwirkt. Dafür muss eine Verdrehsicherung vorgesehen werden. Die Einbauwinkeltoleranz darf maximal ± 5 ° betragen.

1.3 Einbau

Dieses Erzeugnis muss einstellfrei montierbar sein. Der Kraftmessbolzen wird von einer Seite durch die Bohrungen eingeführt und anschließend per Mutter oder Seegering gesichert. Ein einmaliger elektrischer Abgleich nach dem Einbau bzw. Tausch ist möglich.

1.4 Messgröße

Die zu messende Größe ist das Gesamtgewicht, welches sich auf dem Sitz befindet. Als Messgrößen dienen maximal vier Einzelgewichte, die senkrecht auf die Kraftmessbolzen in der Sitzbefestigung einwirken. Befindet sich die Gurtschlossbefestigung unterhalb der Messstellen, dann muss die Gurtkraft zusätzlich erfasst werden.

1.5 Umgebungsbedingungen

Es gelten die Bedingungen im Fahrgastraum.

1.5.1 Schüttelbelastung

Richtwerte für die zulässige Schwingbeschleunigung am Erzeugnis sind:

Beschleunigungswerte: $\mathbf{a_{Pegel} \leq 300\ m/s^2}$ darin enthalten:

a) Schock-Beschleunigungswerte: $\mathbf{a_{max} \leq 200\ m/s^2 \pm 30\ m/s^2}$ (halbsinus-förmig) mit **11 ms ± 1 ms** Dauer in allen drei Richtungen (positiv und negativ)

b) stochastische Schwingungen: $\mathbf{a_{rms} \leq 33\ m/s^2}$ im **Frequenzbereich 10 Hz bis 1000 Hz** über **2 Stunden** in allen drei Richtungen (positiv und negativ)

Der freie **Fall** von **1 m** Höhe muss (außer Betrieb) überstanden werden.

1.5.2 Dynamik der Gewichtsänderung

Die maximale Dauerlast auf einem Sitz beträgt: $\mathbf{W_{Dauer\ max} = 180\ kg}$,
die kurzzeitige Überlast (erzeugt durch Fahrzeug- oder straßenbedingte Beschleunigungen auf den Passagier) kann bis zu $\mathbf{W_{Spitze\ max} = 360\ kg}$ anwachsen.

Die Änderungen der vier Einzelgewichte während der Fahrt werden bei der Messung durch zeitliche Mittelung ($\tau = 0{,}1$ s) begrenzt und sollten bei der Berechnung des Gesamtgewichts **W** beim Messpunkt von ca. **39 kg** nur zu kleinen Variationen von maximal 3% führen. Der in der Auswertung implementierte Beobachter wird das **Gesamtgewicht** unter Berücksichtigung von Plausibilitätskriterien ca. alle **5 s** neu ausgeben.

1.5.3 Temperaturbelastung

Gemäß dem Temperaturbereich im Fahrgastraum muss der Sensor von - 30 °C bis + 85 °C im Dauerbetrieb arbeiten. Er muss Temperaturen von - 40 °C bis + 90 °C (ohne Funktion) aushalten, ohne zerstört zu werden.

1.5.4 Feuchtigkeitsbelastung

Die Funktion des Sensors darf durch die Luftfeuchte: **H ≤ 95 % rel. Feuchte** bei **T = 65 °C** über **168 Stunden** nicht beeinträchtigt werden.

1.6 Prüfbedingungen

Die Festlegungen der Funktions-, Schüttel-, Lebensdauer- und klimatischen Prüfungen erfolgen durch die zuständigen Entwicklungsabteilungen.

1.7 Kundendienstforderung

Das Erzeugnis muss ein Austauschteil sein. Eine elektrische Kalibrierung nach dem Einbau ist zulässig (vgl. 1.3).

2.0 Mechanisch-/elektrische Anforderungen

Der einzelne Kraftmessbolzen sollte im Bereich von 8,5 kg bis 11 kg besonders genau das Gewicht erfassen; das zu messende Gesamtgewicht (von 4 Kraftmessbolzen) muss um 39 kg herum mit höchster Genauigkeit gemessen werden.

Andererseits muss der Kraftmessbolzen eine Überlastsicherung haben, so dass er nach einem Crash, bei dem der Airbag noch nicht ausgelöst wird, ohne Kalibrierung weitermisst.

2.1 Versorgungsspannung

Die 4 Kraftmessbolzen werden vom Steuergerät her mit der Versorgungsspannung
$\mathbf{U_v = 5\ V_=}$ (stab.) versorgt.

2.2 Spezifikation der Kennlinie

Die Kennlinie soll einen linearen Zusammenhang zwischen Gesamtgewichtskraft **W** und Ausgangsspannung **U** wiedergeben:

$$\mathbf{U = (2{,}0\ V / 90\ kg) * W + 0{,}5\ V} \quad (\text{mit } \mathbf{W_{max} = 180\ kg})$$

Dies gilt sowohl für den Abgriff mittels Hall-IC als auch DMS-Brücke.

2.2.1 Messgröße (Eingangsgröße)

Die zu erfassende Eingangsgröße eines einzelnen Kraftmessbolzens ist die Gewichtskraft W, welche zwischen

$$\mathbf{W = 0\ kg} \text{ und } \mathbf{\pm\ 60\ kg}$$

gemessen werden soll. Der mechanische Anschlag (Überlastgrenze) wird bei ca. 60 kg erreicht. Die **Überlast** kann bis zum **3-fachen Wert** anwachsen.

2.2.2 Signal (Ausgangsgröße)

Das Signal ist vorzugsweise eine elektrische Spannung U, welche zwischen

$$\mathbf{U = 0{,}5\ V} \text{ und } \mathbf{4{,}5\ V}$$

liegt (vgl. 2.2 Kennlinie).

Im Störungsfall liegt die ausgegebene Spannung außerhalb des o.a. Signalspannungsbereiches.

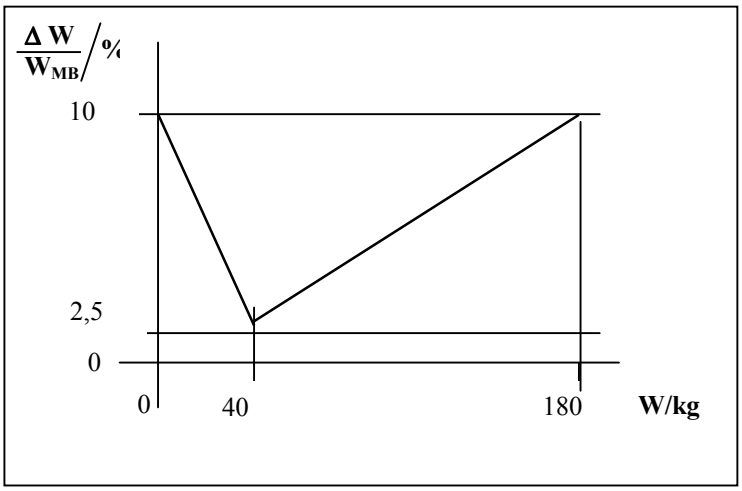
2.3 Genauigkeit

Die Gesamtgewichtskraft W_Σ muss bei

W_Σ = 39 kg auf **± 4 kg** genau gemessen werden.

Das entspricht einer **Gesamtgenauigkeit ≤ ± 10 % v. MW.**

Ansonsten gilt folgendes Diagramm:



2.3.1 Auflösung, Reproduzierbarkeit, Hysterese, Alterung

Die **Summe aller Fehler** muss **kleiner als ± 10 % v. MW.** bei **F_Σ = 39 kg** bleiben.

2.4 Kurzschlussfestigkeit

Der einzelne Kraftmessbolzen muss eine Kurzschlussfestigkeit des Signal-Ausgangs nach **Masse** und bis + **16 Volt** aufweisen.
Außerdem muss der einzelne Kraftmessbolzen einen **Verpolschutz** aufweisen.

11.2. Hardware

Aufbau der SC-2043-SG

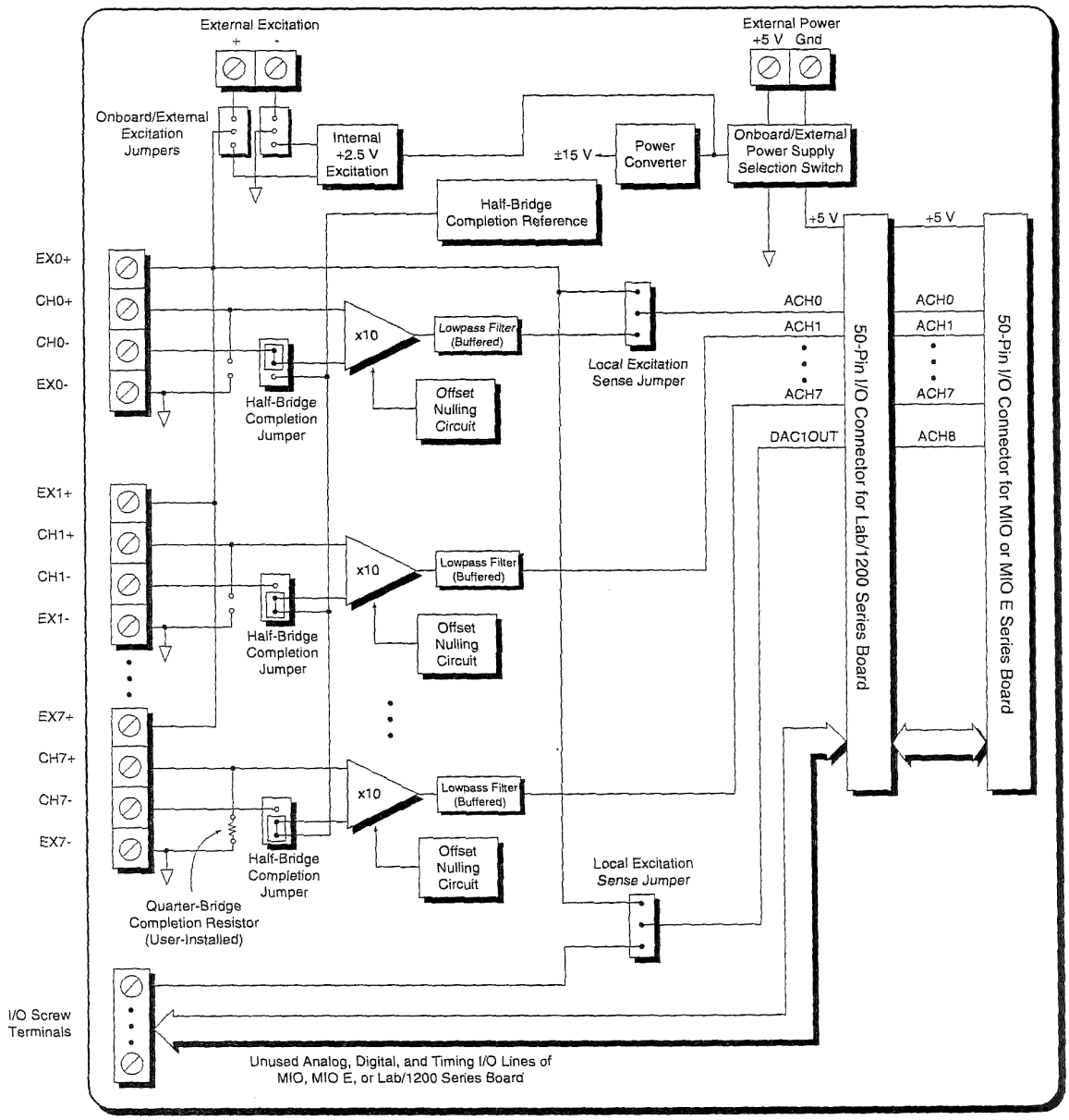


Bild 80 Blockschaltbild Analogkarte

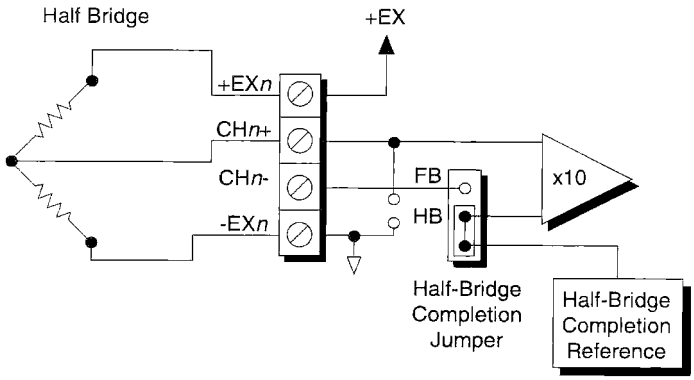
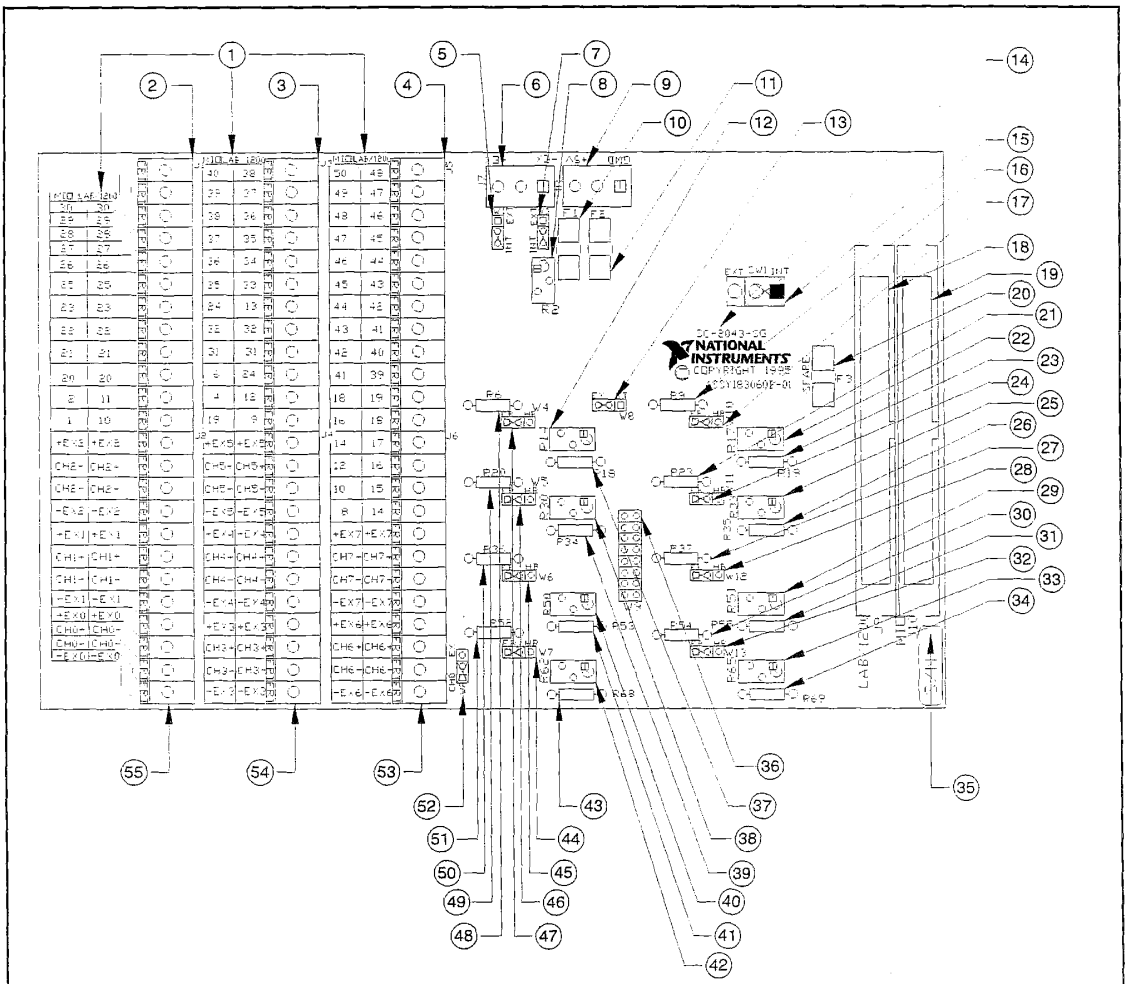


Bild 81 Anschluss der Halbbrücke an die Analogkarte



1	Screen Printed Screw Terminal Label	14	Product Name and Assembly Number	27	R37	41	R53
2	J1	15	SW1	28	W12	42	R62
3	J3	16	R9	29	R51	43	R68
4	J5	17	W10	30	R54	44	W7
5	W1	18	J9	31	R55	45	W6
6	J7	19	J10	32	W13	46	W5
7	W3	20	F3	33	R65	47	W4
8	R2	21	R23	34	R69	48	R6
9	J8	22	R17	35	Serial Number	49	R20
10	F1	23	R19	36	W9	50	R36
11	F2	24	W11	37	R18	51	R52
12	R14	25	R33	38	R30	52	W2
13	W8	26	R35	39	R34	53	J6
				40	R50	54	J4
						55	J2

Bild 82 Aufbau der Analogkarte

11.3. Software

Messfenster vom MGC+

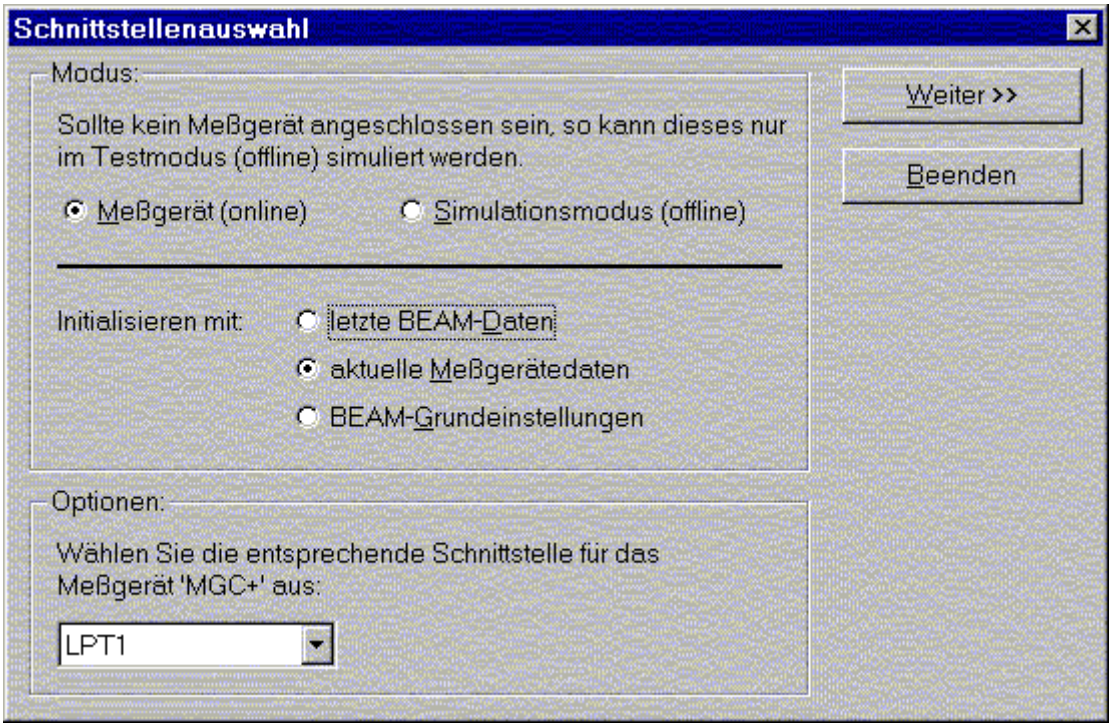


Bild 83 Schnittstellenauswahl

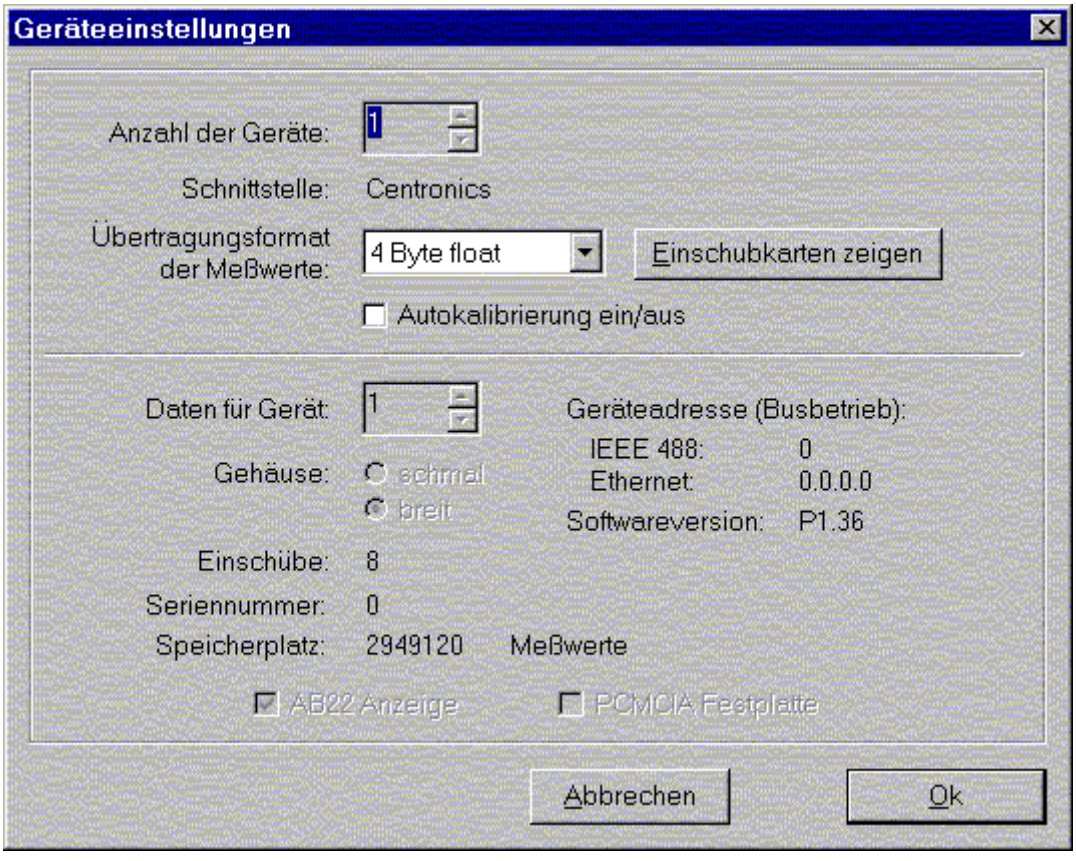


Bild 84 Geräteeinstellungen

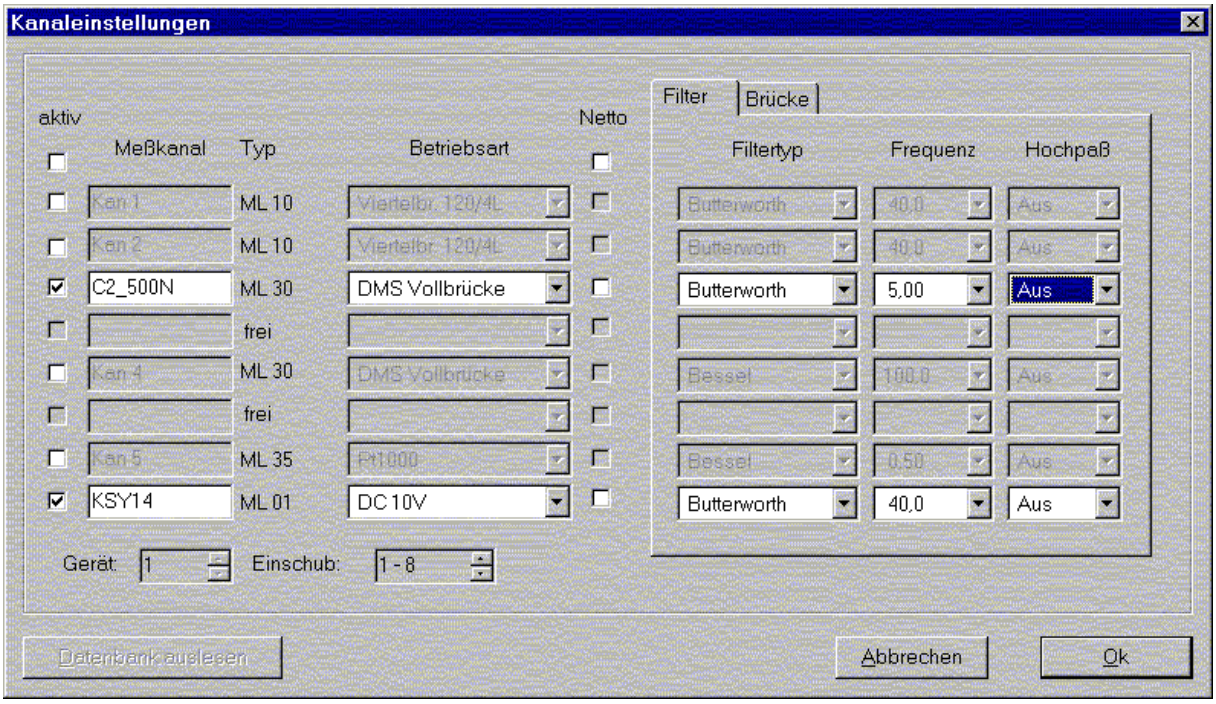


Bild 85 Kanaleinstellungen

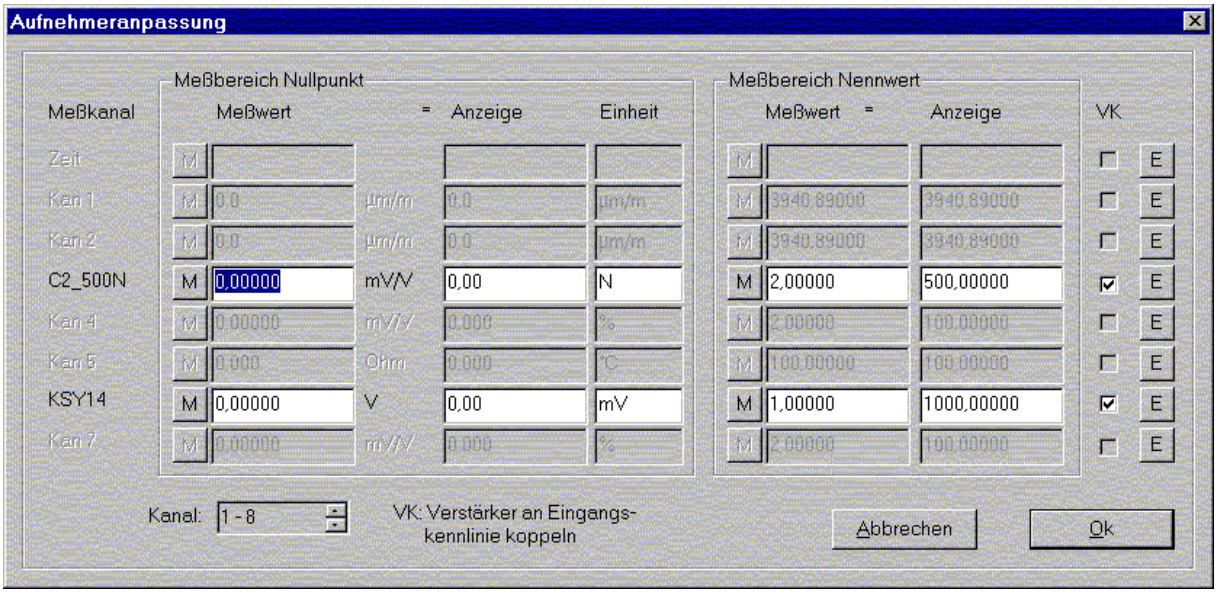


Bild 86 Aufnehmeranpassung

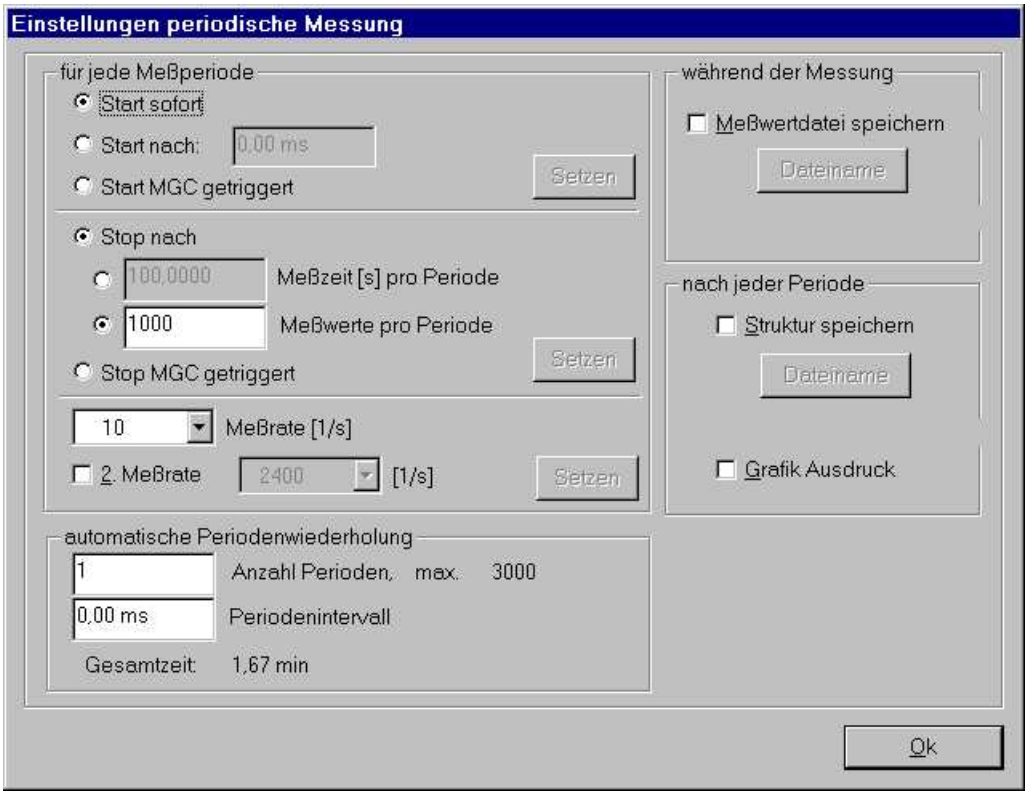


Bild 87 Einstellung der Messzeit

MAX – Measurement and Automations Tool

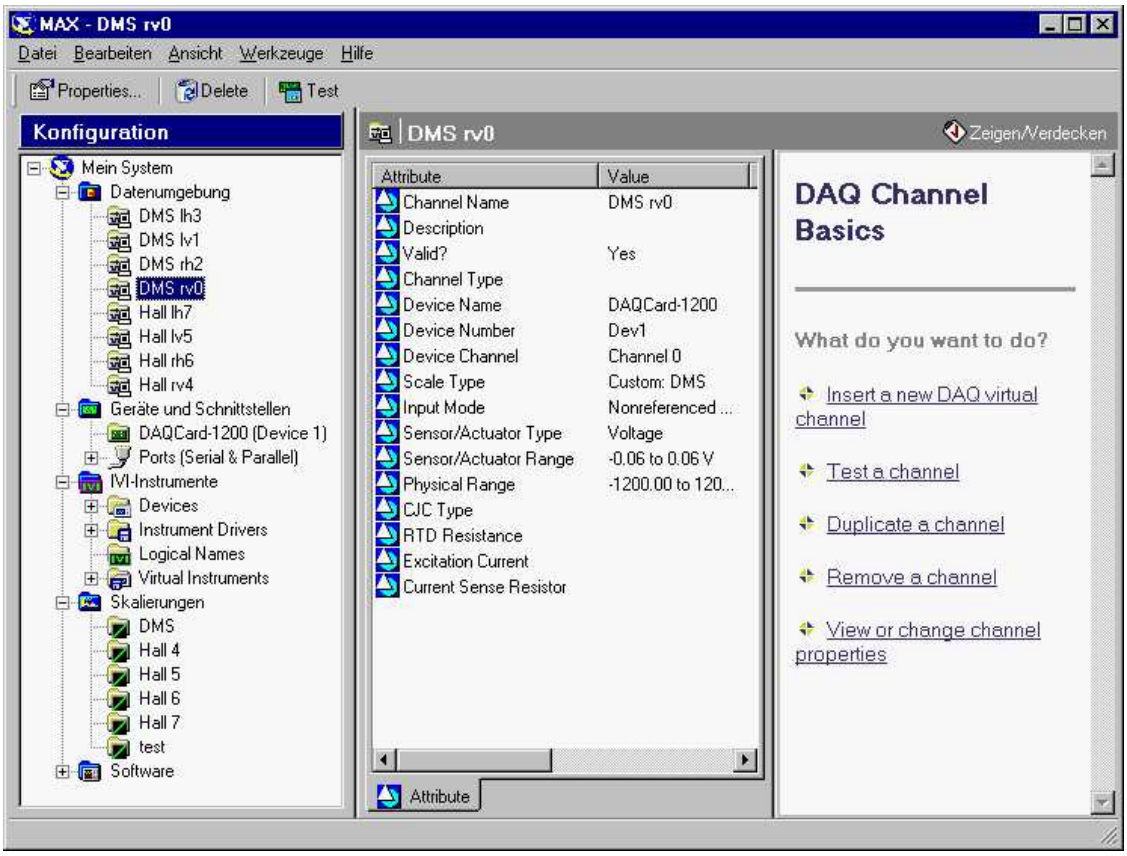


Bild 88 Konfigurationsfenster in MAX

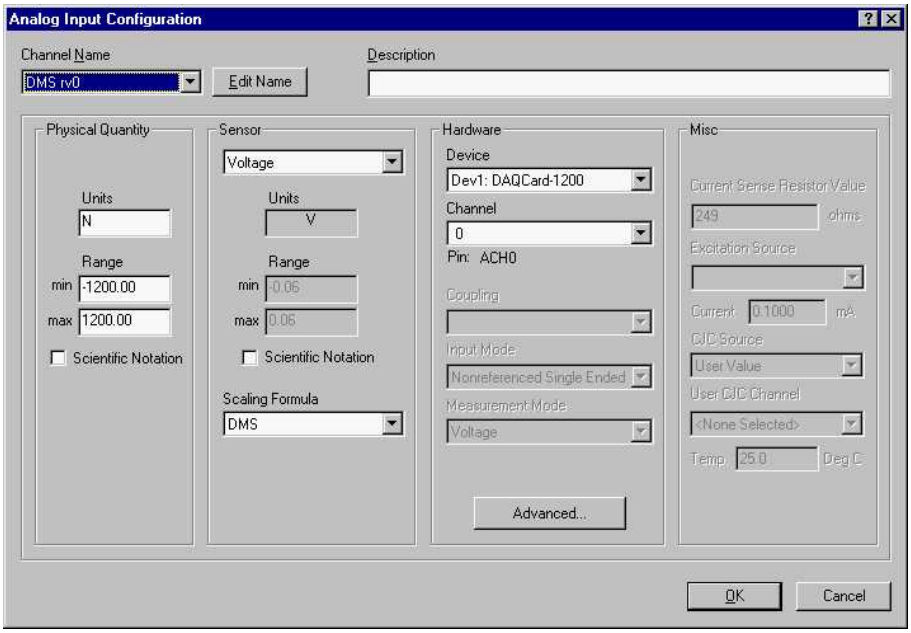


Bild 89 Analog-Input-Konfigurationsfenster in MAX

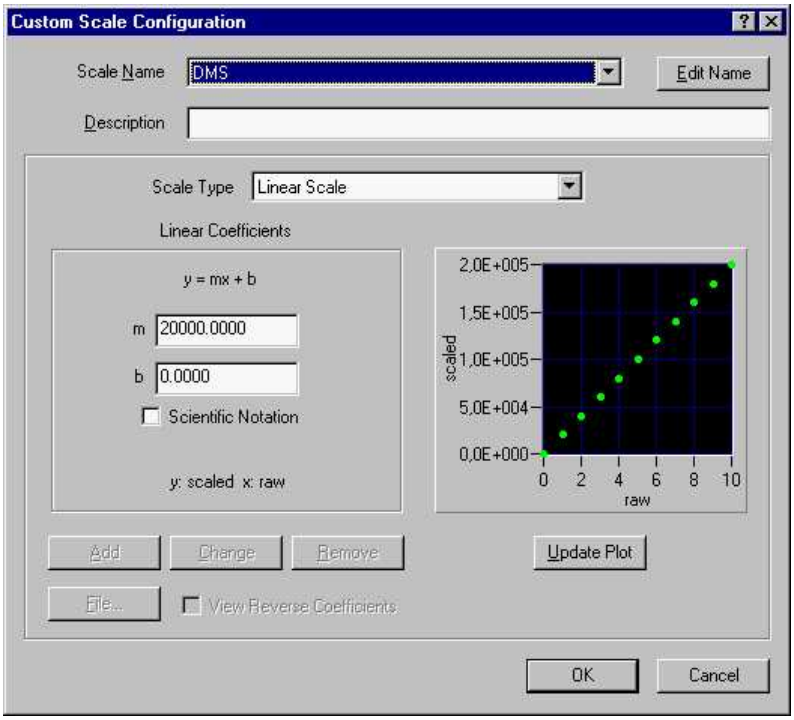


Bild 90 Konfigurationsfenster des DMS in MAX

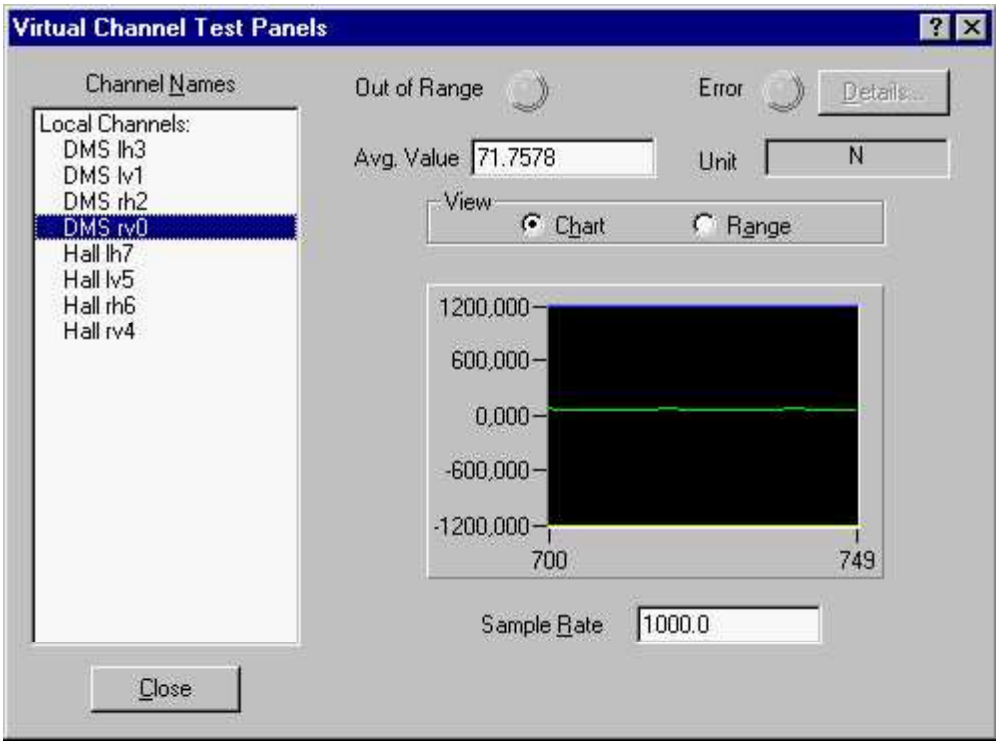


Bild 91 Testfenster

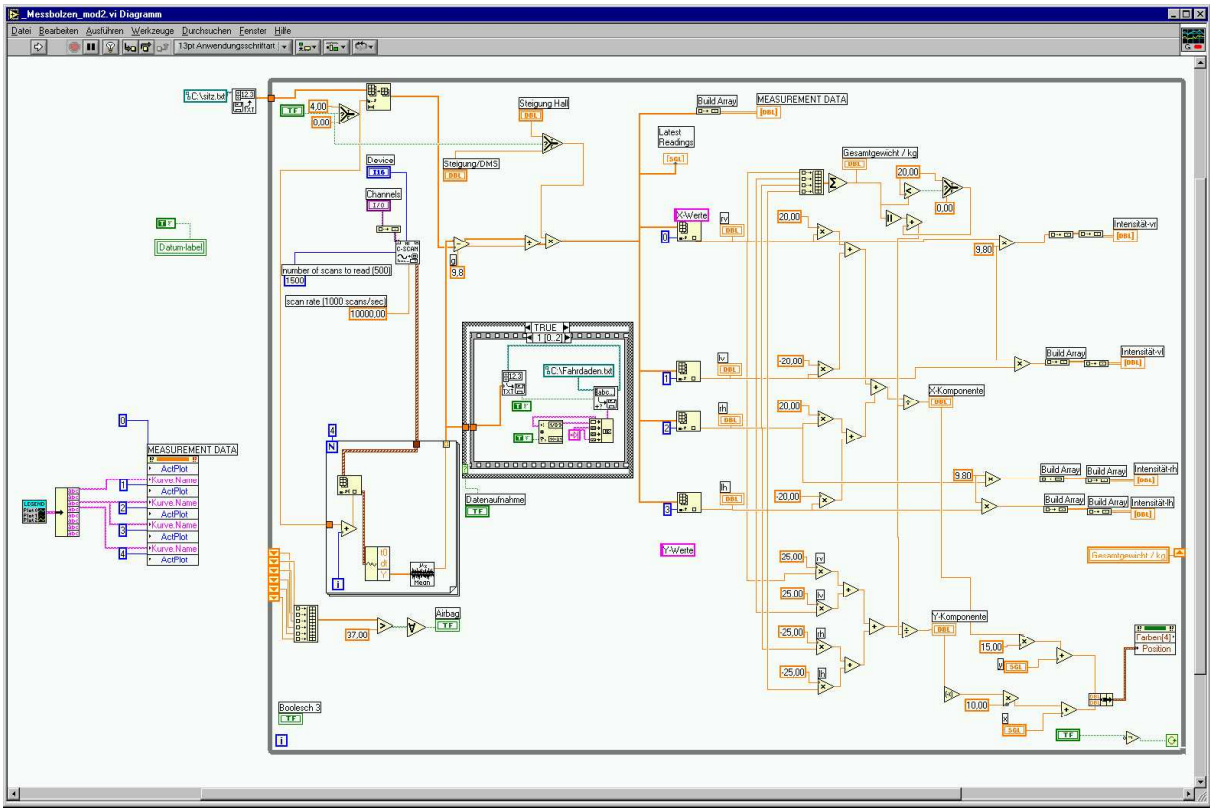


Bild 92 Functionpanel

11.4. Auszüge aus den Datenblättern

KSY 14

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values	Unit
Operating temperature	T_A	– 40 … + 175	°C
Storage temperature	T_{stg}	– 50 … + 180	°C
Supply current	I_1	7	mA
Thermal conductivity soldered, in air	G_{thA} G_{thC}	≥ 1.5 ≥ 2.2	mW/K mW/K

Electrical Characteristics (T_A = 25 °C)

Nominal supply current	I_{1N}	5	mA
Open-circuit sensitivity	K_{B0}	190 … 260	V/AT
Open-circuit Hall voltage $I_1 = I_{1N}$, B = 0.1 T	V_{20}	95 … 130	mV
Ohmic offset voltage $I_1 = I_{1N}$, B = 0 T	V_{R0}	≤ ± 20	mV
Linearity of Hall voltage B = 0…0.5 T B = 0…1 T	F_L	 ≤ ± 0.2 ≤ ± 0.7	 % %
Input resistance B = 0 T	R_{10}	900 … 1200	Ω
Output resistance B = 0 T	R_{20}	900 … 1200	Ω
Temperature coefficient of the open-circuit Hall voltage $I_1 = I_{1N}$, B = 0.1 T	TC_{V20}	~ – 0.03 … – 0.07	%/K
Temperature coefficient of the internal resistance B = 0 T	$TC_{R10, R20}$	~ 0.1 … 0.18	%/K
Change of offset voltage within the temperature range	$\lvert\Delta V_{R0}\rvert$ [1]	≤ 2	mV
Inductive zero component I_{1N} = 0	A_2 [2]	0.16	cm²
Noise figure	F	~ 10	dB

[1] AQL: 0.65

[2] With time varying induction there exists an inductive voltage V_{ind} between the Hall voltage terminals (supply current I_1 = 0):
$V_{ind} = A_2 \times dB/dt \times 10^{-4}$ with V(V), A_2 (cm²), B(T), t(s)

DMS der Serie Y

Technische Daten

DMS-Konstruktion		Folien-DMS mit eingebettetem Meßgitter
Meßgitter		
Werkstoff		Konstantanfolie
Dicke	µm	3,8 oder 5, je nach DMS-Typ
Träger		
Werkstoff		Polyimid
Basisdicke	µm	45 ± 10
Deckendicke	µm	25 ± 5
Anschlüsse		nickelplattierte Cu-Bänder, ca. 30 mm lang
bei DMS ohne Anschluß-Bändchen		integrierte Anschlußflächen, ca. 1,5 mm lang, ca. 1,6 ... 2,2 mm breit
Nennwiderstand	Ω	120, 350, 700 oder 1000, je nach DMS-Typ
Widerstandstoleranz	%	± 0,3 ohne; ± 0,35 mit Anschlußbändern[2]
außer bei den KY-Typen pro Kette	%	± 0,5
k-Faktor		ca. 2
Nennwert des k-Faktors		auf jeder Packung angegeben
k-Faktor-Toleranz bei 0,6 mm und 1,5 mm Meßgitterlänge	%	± 1,5
bei ≧ 3 mm Meßgitterlänge	%	± 1
Temperaturkoeffizient des k-Faktors	1/K	ca. (115 ± 10) · 10^{-6}
Nennwert des Temperaturkoeffizienten des k-Faktors		auf jeder Packung angegeben
Referenztemperatur	°C	23
Gebrauchstemperaturbereich		
für statische, d.h. nullpunktbezogene Messungen	°C	- 70 ... + 200
für dynamische, nicht nullpunktbezogene Messungen	°C	-200 ... + 200
Querempfindlichkeit		
bei Referenztemperatur unter Verwendung von Klebstoff Z 70	%	- 0,1
am DMS-Typ LY11-6/120		
Temperaturgang		auf jeder Packung angegeben
Temperaturgang nach Wahl angepaßt an Wärmeausdehnungskoeffizienten α		
α für ferritischen Stahl	1/K	10,8 · 10^{-6}
α für Aluminium	1/K	23 · 10^{-6}
α für Kunststoff	1/K	65 · 10^{-6}
α für austenitischen Stahl	1/K	16 · 10^{-6}
α für Titan	1/K	9 · 10^{-6}
α für Molybdän	1/K	5,4 · 10^{-6}
α für Quarz	1/K	0,5 · 10^{-6}
Toleranz des Temperaturgangs	1/K	± 0,3 · 10^{-6}
Anpassung des Temperaturgangs im Bereich	°C	-10 ... + 120
Mechanische Hysterese[1]		
bei Referenztemperatur und Dehnung ε = ± 1000 µm/m		
am DMS-Typ LY11-6/120		
bei 1. Belastungszyklus und Klebstoff Z 70	µm/m	1
bei 3. Belastungszyklus und Klebstoff Z 70	µm/m	0,5
bei 1. Belastungszyklus und Klebstoff X 60	µm/m	2,5
bei 3. Belastungszyklus und Klebstoff X 60	µm/m	1
bei 1. Belastungszyklus und Klebstoff EP 250	µm/m	1
bei 3. Belastungszyklus und Klebstoff EP 250	µm/m	1
Maximale Dehnbarkeit[1]		
bei Referenztemperatur unter Verwendung von Klebstoff Z 70		
am DMS-Typ LY11-6/120		
Dehnungsbetrag ε bei positiver Richtung	µm/m	50 000 (≙ 5 %)
Dehnungsbetrag ε bei negativer Richtung	µm/m	50 000 (≙ 5 %)
Dauerschwingverhalten[1]		
bei Referenztemperatur unter Verwendung von Klebstoff X 60		
am DMS-Typ LY61-6/120		
Erreichbare Lastspielzahl L_e bei		
Wechseldehnung ε_w = ± 1000 µm/m und Nullpunktänderung ε_m Δ ≦ 300 µm/m		>> 10^7 (Prüfung wurde bei 10^7 abgebrochen)
ε_m Δ ≦ 30 µm/m		> 10^7 (Prüfung wurde bei 10^7 abgebrochen)
Kleinster Krümmungsradius längs und quer bei Referenztemperatur		
bei DMS mit Anschlußbändern	mm	0,3
bei DMS mit integrierten Anschlußflächen		
im Bereich des Meßgitters	mm	0,3
im Bereich Anschlußflächen	mm	2
Verwendbare Befestigungsmittel		
kalthärtende Klebstoffe		Z 70; X 60; X 280
heißhärtende Klebstoffe		EP 250; EP 310

[1] Die Daten sind abhängig von den verschiedenen Parametern der Applikation und deshalb nur für repräsentative Beispiele angegeben.
[2] Bei Meßgitterlängen von 0,6 mm kann der Nennwiderstand um ± 1% abweichen. Für die Typen LY51/LY5x beträgt die Abweichung ± 0,75%.

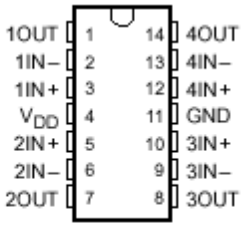
Datenblätter für Precision Quad OP, Single Supply

TLC274, TLC274A, TLC274B, TLC274Y, TLC279
LinCMOS™ PRECISION QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

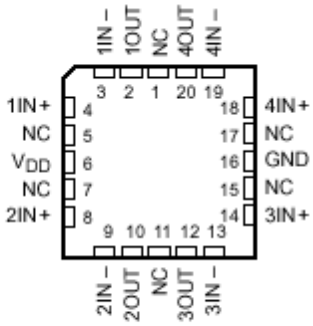
SLOS092B – SEPTEMBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

- **Trimmed Offset Voltage:**
  TLC279 . . . 900 μV Max at 25°C, V_{DD} = 5 V
- **Input Offset Voltage Drift . . . Typically 0.1 μV/Month, Including the First 30 Days**
- **Wide Range of Supply Voltages Over Specified Temperature Range:**
  0°C to 70°C . . . 3 V to 16 V
  –40°C to 85°C . . . 4 V to 16 V
  –55°C to 125°C . . . 4 V to 16 V
- **Single-Supply Operation**
- **Common-Mode Input Voltage Range Extends Below the Negative Rail (C-Suffix and I-Suffix Versions)**
- **Low Noise . . . Typically 25 nV/√Hz at f = 1 kHz**
- **Output Voltage Range Includes Negative Rail**
- **High Input Impedance . . . 10^{12} Ω Typ**
- **ESD-Protection Circuitry**
- **Small-Outline Package Option Also Available in Tape and Reel**
- **Designed-In Latch-Up Immunity**

D, J, N, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

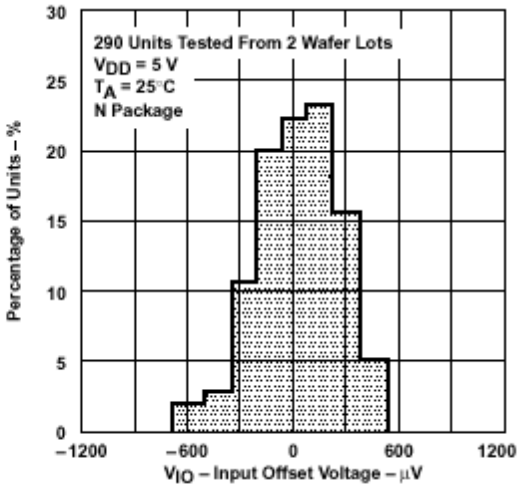
description

The TLC274 and TLC279 quad operational amplifiers combine a wide range of input offset voltage grades with low offset voltage drift, high input impedance, low noise, and speeds approaching that of general-purpose BiFET devices.

These devices use Texas Instruments silicon-gate LinCMOS™ technology, which provides offset voltage stability far exceeding the stability available with conventional metal-gate processes.

The extremely high input impedance, low bias currents, and high slew rates make these cost-effective devices ideal for applications which have previously been reserved for BiFET and NFET products. Four offset voltage grades are available (C-suffix and I-suffix types), ranging from the low-cost TLC274 (10 μV) to the high-precision TLC279 (900 μV). These advantages, in combination with good common-mode rejection and supply voltage rejection, make these devices a good choice for new state-of-the-art designs as well as for upgrading existing designs.

DISTRIBUTION OF TLC279
INPUT OFFSET VOLTAGE



LinCMOS is a trademark of Texas Instruments Incorporated.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1994, Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
POST OFFICE BOX 1443 • HOUSTON, TEXAS 77251–1443

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{DD} (see Note 1) . . . . . 18 V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2) . . . . . $\pm V_{DD}$
Input voltage range, V_I (any input) . . . . . −0.3 V to V_{DD}
Input current, I_I . . . . . ±5 mA
Output current, I_O (each output) . . . . . ±30 mA
Total current into V_{DD} . . . . . 45 mA
Total current out of GND . . . . . 45 mA
Duration of short-circuit current at (or below) 25°C (see Note 3) . . . . . unlimited
Continuous total dissipation . . . . . See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature, T_A: C suffix . . . . . 0°C to 70°C
I suffix . . . . . −40°C to 85°C
M suffix . . . . . −55°C to 125°C
Storage temperature range . . . . . −65°C to 150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package . . . . . 260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D, N, or PW package . . . . . 260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: J package . . . . . 300°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to network ground.
2. Differential voltages are at the noninverting input with respect to the inverting input.
3. The output may be shorted to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the maximum dissipation rating is not exceeded (see application section).

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \le 25°C$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25°C$	$T_A = 70°C$ POWER RATING	$T_A = 85°C$ POWER RATING	$T_A = 125°C$ POWER RATING
D	950 mW	7.6 mW/°C	608 mW	494 mW	—
FK	1375 mW	11.0 mW/°C	880 mW	715 mW	275 mW
J	1375 mW	11.0 mW/°C	880 mW	715 mW	275 mW
N	1575 mW	12.6 mW/°C	1008 mW	819 mW	—
PW	700 mW	5.6 mW/°C	448 mW	—	—

recommended operating conditions

		C SUFFIX		I SUFFIX		M SUFFIX		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage, V_{DD}		3	16	4	16	4	16	V
Common-mode input voltage, V_{IC}	V_{DD} = 5 V	−0.2	3.5	−0.2	3.5	0	3.5	V
	V_{DD} = 10 V	−0.2	8.5	−0.2	8.5	0	8.5	
Operating free-air temperature, T_A		0	70	−40	85	−55	125	°C

electrical characteristics at specified free-air temperature, V_{DD} = 10 V (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS		T_A†	TLC274C, TLC274AC, TLC274BC, TLC279C			UNIT
						MIN	TYP	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage	TLC274C	V_O = 1.4 V, R_S = 50 Ω,	V_{IC} = 0, R_L = 10 kΩ	25°C		1.1	10	mV
					Full range			12	
		TLC274AC	V_O = 1.4 V, R_S = 50 Ω,	V_{IC} = 0, R_L = 10 kΩ	25°C		0.9	5	
					Full range			6.5	
		TLC274BC	V_O = 1.4 V, R_S = 50 Ω,	V_{IC} = 0, R_L = 10 kΩ	25°C		390	2000	µV
					Full range			3000	
		TLC279C	V_O = 1.4 V, R_S = 50 Ω,	V_{IC} = 0, R_L = 10 kΩ	25°C		370	1200	
					Full range			1900	
α_{VIO}	Average temperature coefficient of input offset voltage				25°C to 70°C		2		µV/°C
I_{IO}	Input offset current (see Note 4)		V_O =.5 V,	V_{IC} = 5 V	25°C		0.1		pA
					70°C		7	300	
I_{IB}	Input bias current (see Note 4)		V_O = 5 V,	V_{IC} = 5 V	25°C		0.7		pA
					70°C		50	600	
V_{ICR}	Common-mode input voltage range (see Note 5)				25°C	−0.2 to 9	−0.3 to 9.2		V
					Full range	−0.2 to 8.5			V
V_{OH}	High-level output voltage		V_{ID} = 100 mV,	R_L = 10 kΩ	25°C	8	8.5		V
					0°C	7.8	8.5		
					70°C	7.8	8.4		
V_{OL}	Low-level output voltage		V_{ID} = −100 mV,	I_{OL} = 0	25°C		0	50	mV
					0°C		0	50	
					70°C		0	50	
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification		V_O = 1 V to 6 V,	R_L = 10 kΩ	25°C	10	36		V/mV
					0°C	7.5	42		
					70°C	7.5	32		
CMRR	Common-mode rejection ratio		V_{IC} = V_{ICR}min		25°C	65	85		dB
					0°C	60	88		
					70°C	60	88		
k_{SVR}	Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)		V_{DD} = 5 V to 10 V,	V_O = 1.4 V	25°C	65	95		dB
					0°C	60	94		
					70°C	60	96		
I_{DD}	Supply current (four amplifiers)		V_O = 5 V, No load	V_{IC} = 5 V,	25°C		3.8	8	mA
					0°C		4.5	8.8	
					70°C		3.2	6.8	

† Full range is 0°C to 70°C.

NOTES: 4. The typical values of input bias current and input offset current below 5 pA were determined mathematically.
5. This range also applies to each input individually.

Einkanal-Verstärkereinschub ML01B

Genauigkeitsklasse		0,03			
Gleichspannungs-Verstärker					
Eingang für Spannungsmessung		symmetrisch			
Eingangssignalbereich (umschaltbar)	V	-10,2 ...-10,2		-0,0765 ...+0,0765	
Meßbereich digital einstellbar	V	±0,4 ... 10,2		±0,002 ... 0,0765	
Nullverschiebung	V	±10		±0,075	
Meßfrequenzbereich	Hz	0 ... 2400 -1dB [1]		0 ... 250 -1dB	
Innenwiderstand der Signalspannungsquelle	kOhm	≤ 1,3			
Eingang für Thermoelementmessung					
Meßrate	Hz	150			
Meßbereich digital einstellbar	°C	10 ... 3275			
Linearisierungsbereich	°C	Ni-CrNi (K) -269..+1370	Fe-CuNi (J) -210..+1198	Pt-10PtRh (S) -50...+1764	Cu-CuNi (T) -270..+393
Fehler der Linearisierung (nach DIN IEC584 Teil1)	°C	0,1			
Maximaler Innenwiderstand	kOhm	1,3			
Temperaturbereich für Vergleichsstelle [2]	°C	-20 ...+ 80			
Maximal zulässige Gleichtaktspannung	V	62			
Eingang für Strommessung		asymmetrisch (an internen Normalwiderstand 50 Ohm)			
Eingangssignalbereich	mA	-50 ...+50			
Meßbereich digital einstellbar	mA	±4 ... 50			
max. Meßfrequenzbereich	Hz	0 ... 2400 -1dB			
Nullverschiebung einstellbar (lebender Nullpunkt)	mA	0 ...50			

Meßfrequenzbereich
Tiefpaß mit Butterworth-Charakteristik

Nennwert fc (Hz)	-1dB (Hz)	-3dB (Hz)	Laufzeit (ms)	Anstiegszeit (ms)	Ü-schw. %
2400 [3]	2400	3250	0,28	0,105	5,2
2000 [3]	2050	2350	0,40	0,170	12
1000 [4]	1050	1190	0,66	0,336	12
500	500	588	0,90	0,64	11
250	246	291	1,45	1,3	10
80	79	99	3,65	3,8	9
40	37,5	49,5	6,0	7,0	7
20	19	25,5	11	13,3	6
10*	8,9	12,4	20	26	5
5	4,5	6,2	42	50	4

Tiefpaß mit Bessel-Charakteristik

Nennwert fc (Hz)	-1dB (Hz)	-3dB (Hz)	Laufzeit (ms)	Anstiegszeit (ms)	Ü-schw. %
1100[4]	1100	1780	0,45	0,23	1,3
400	445	805	0,7	0,45	1,3
200	235	410	1,1	0,86	1,3
100*	117	210	1,8	1,7	1,3
40	38,5	68	4,3	5,1	1
20	22,0	37,5	7,4	9,4	1
10	10,5	19,0	12	19,0	0
5	5,1	9,6	22	35,5	0
2,5	2,6	4,8	50	70	0
1,25	1,35	2,4	100	135	0
0,5	0,7	1,2	200	280	0
0,2	0,17	0,3	650	1100	0
0,1	0,08	0,15	1400	2200	0
0,05	0,043	0,075	3000	4600	0

Hochpaß[5] (bei Tiefpaß Bessel ≥5Hz oder Butterworth ≥10Hz)	Hz	0,1 und 1,0		
Absolute Kalibrierabweichung	%	0,1		
Linearitätsabweichung	%	< 0,02 typ 0,01 % v.E. [6]		
Rauschspannung bezogen auf den Eingang bei Filtereinstellung	Hz	1,25		100
Meßbereich: 75mV	μV_{ss}	3		75
Meßbereich: 10 V	μV_{ss}	40		120
Thermoelemente				
Typ J, K, T [7]	K	0,1		
Typ S [8]	K	1		

*) Werkseinstellung
1) Bei Ue > 2,5 Vss Einschränkung der Meßfrequenzen beachten
2) Vergleichsmeßstelle eingebaut in der Anschlußplatte AP09
3) Gültig für Uess < 2,5V bei Range = 10V (entspricht 25% Aussteuerung des Bereiches)
4) Gültig für Uess < 5V bei Range = 10V (entspricht 50% Aussteuerung des Bereiches)
5) Bei Widerstandsthermometern und Thermoelementen ohne Funktion
6) Für Meßbereiche > 3V bzw. >25mV bzw. > 10mA; sonst < 0,1% v.E.
7) Typ J: -210...1198°C; Typ K: -230...1370°C; Typ T: -200...393°C
8) Typ S: -50...1769°C

Einkanal-Verstärkereinschub ML01B (Fortsetzung)

Langzeitdrift über 48 Stunden (mit / ohne Autokalibrierung)		
Meßbereich 75 mV	µV	5 / 10
Meßbereich 10V	mV	0,5 / 1
Thermoelemente (mit / ohne Autokalibrierung)		
Typ J, T [1]	K	0,25 / 0,5
Typ K [2]	K	0,5 / 1
Typ S [3]	K	1 / 2
Einfluß der Umgebungstemperatur bei 10K-Änderung auf die digitalen Signale S1 und S2 mit Autokalibrierung ein / aus		
Meßempfindlichkeit	%	< 0,02 typ. 0,01 / < 0,2 typ.0,1
Nullpunkt		
10V-Bereich	mV	< 0,2 / < 6
75mV-Bereich	µV	< 5 / < 50
20mA-Bereich	µA	< 4 / < 120
Thermoelemente		
Typ J, T [1]	K	< 0,25 / < 2,5
Typ K [2]	K	< 0,5 / < 5
Typ S [3]	K	< 1 / < 10
Analog-Ausgänge Ua1 und Ua2		
Trägerrestspannung (38,4kHz)	mV_{SS}	< 12
Langzeitdrift (über 48h)	mV	< 3

1) Typ J: -99...1198°C; Typ T: -200...393°C
2) Typ J: -210...1198°C; Typ K: -230...1370°C; Typ T: -200...393°C
3) Typ S: -50...1769°C

Einkanal-Verstärkereinschub ML10B

Genauigkeitsklasse		**0,03**			
Brückenspeisespannung (± 5%)	V	10	5*)	2,5	1
Meßgrößenaufnehmer					
DMS-Voll- und Halbbrücke, Potentiometer, piezo-resistive Aufnehmer	Ohm	220...5000	110...5000	60...5000	30...5000
DMS-Viertelbrücke		In Verbindung mit Anschlußplatte AP14			
Piezoelektrische Aufnehmer		In Verbindung mit Anschlußplatte AP08			
Stromgespeiste piezoelektrische Aufnehmer (z. B. Deltatron® von Brüll&Kjaer)		In Verbindung mit Anschlußplatte AP18			
Zul. Kabellänge zwischen Aufnehmer und Verstärker	m	max. 500			
Gleichspannungs-Verstärker					
Meßbereiche					
DMS (Low)	mV/V	±0,10...3,06	±0,20...6,12	±0,40...12,24	±1,0...30,6
Potentiometer, piezo-resistive Aufnehmer (High)	mV/V	±10...306	±20...612	±40...1224	±100...3060
Ladungsverstärker		Spannungseingang mit max. ±2,5V Amplitude			
Brückenabgleichbereich					
DMS (Low)	mV/V	±3,06	6,12	12,24	30,6
Potentiometer, piezo-resistive Aufnehmer (High)	mV/V	±306	±612	±1224	±3060
Ladungsverstärker	V	±2,5V			

Meßfrequenzbereich
Tiefpaß mit Butterworth-Charakteristik

Nennwert fc (Hz)	-1dB (Hz)	-3dB (Hz)	Laufzeit (ms)	Anstiegszeit (ms)	Ü-schw. %
2000	2100	3000	0,32	0,33	17,5[1]
1000	1025	1130	0,5	0,42	15,1
500	503	590	0,8	0,68	11,3
250	246	291	1,45	1,3	10
80	79	99	3,65	3,8	9
40	37,5	49,5	6	7	7
20	19	25,5	11	13,3	6
10*)	8,9	12,4	20	26	5
5	4,5	6,2	42	50	4

*) Werkseinstellung
1) Bei max. 25% Aussteuerung ($U_{ASS\ max}$=5V)

Einkanal-Verstärkereinschub ML10B (Fortsetzung)

Meßfrequenzbereich
Tiefpaß mit Bessel-Charakteristik

Nennwert fc (Hz)	-1dB (Hz)	-3dB (Hz)	Laufzeit (ms)	Anstiegszeit (ms)	Ü-schw. %	
50000	54000	93000	0,0051	0,004	2	(Low)
50000	55000	93000	0,0051	0,004	2	(High)
10000	9900	16500	0,017	0,022	2	
1000	1040	1250	0,4	0,37	12	
400	450	800	0,6	0,51	4,0	
200	235	410	1,1	0,86	1,3	
100*)	117	210	1,8	1,7	1,3	
40	38,5	68	4,3	5,1	1	
20	22	37,5	7,4	9,4	1	
10	10,5	19	12	19	0	
5	5,1	9,6	22	35,5	0	
2,5	2,6	4,8	50	70	0	
1,25	1,35	2,4	100	135	0	
0,5	0,7	1,2	200	280	0	
0,2	0,17	0,3	650	1100	0	
0,1	0,08	0,15	1400	2200	0	
0,05	0,043	0,075	3000	4600	0	

Hochpaß (bei Tiefpaß Bessel ≥5Hz oder Butterworth ≥10Hz)	Hz	0,1 und 1,0
Max. zulässige Gleichtaktspannung	V	±6
Gleichtaktunterdrückung		
DMS	dB	>120 (DC)
Potentiometer	dB	>95 (DC)
Linearitätsabweichung	%	< 0,03 typ. 0,02 vom Endwert

Störspannungen am Ausgang Rauschspannung bezogen auf den Eingang		DMS (0,2...6,12mV/V)	Potentiometer (20...612mV/V)
bei gewähltem Tiefpaßfilter (Bessel)	50000Hz	3[1)]	120
	10000Hz	2	60
	1000Hz	1,2	20
	100Hz	0,3	10

Einfluß der Umgebungstemperatur bei 10K-Änderung auf die digitalen Signale S1 und S2			Bei eingeschalteter Autokalibrierung	Bei ausgeschalteter Autokalibrierung
DMS (Low):	Meßempfindlichkeit	%	<0,03	<0,2
	Nullpunkt	µV/V	<0,6	<10
Potentiometer (High):	Meßempfindlichkeit	%	<0,03	<0,2
	Nullpunkt	µV/V	<30	<500
Langzeitdrift über 48 Stunden				
DMS (Low):		µV/V	<0,25	<5
Potentiometer (High):		µV/V	<20	<400

Analog-Ausgänge Ua1 und Ua2		
Trägerrestspannung	mV_{SS}	<5
Max. Abweichung der Analogausgänge vom Digitalwert	mV	<10
Langzeitdrift über 48h	mV	<3

*) Werkseinstellung
1) Bei Halbbrücke 20µV/V. Wir empfehlen nur bis zu einer Grenzfrequenz von 10kHz zu messen.

Einkanal-Verstärkereinschub ML30B

Genauigkeitsklasse		0,03
Trägerfrequenz	Hz	600,15 ± 0,06 (synchronisiert) 600,00 ± 0,04 (unsynchronisiert)
Brückenspeisespannung (± 5%)	V	5*) 2,5 1
Meßgrößenaufnehmer		
DMS-Vollbrücke	Ω	110...5000 (U_B= 5V) 60...5000 (U_B= 2,5V) 30...5000 (U_B= 1V)
DMS-Viertelbrücke		In Verbindung mit der Anschlußplatte AP14
Zulässige Kabellänge zwischen Aufnehmer und Verstärker	m	500 max.
Trägerfrequenz-Verstärker		
Meßbereiche	mV/V	± 0,1000 ... 3,0600 (U_B = 5V) ± 0,2000 ... 6,1200 (U_B = 2,5V) ± 0,5000 ... 15,3000 (U_B = 1V)
Brückenabgleichbereich	mV/V	± 3,06 (U_B = 5V) ± 6,12 (U_B = 2,5V) ± 15,3 (U_B = 1V)
Meßfrequenzbereich		

Tiefpaß mit Butterworth-Charakteristik

Nennwert fc (Hz)	-1dB (Hz)	-3dB (Hz)	Laufzeit (ms)	Anstiegszeit (ms)	Ü-schw. %
200	235	277	2,5	1,4	10
80	88	103	4,6	3,8	9
40	43	51	8,2	7,4	7
20	22	26	14	14	6
10*)	10,6	12,7	27	30	5
5	5,3	6,3	52	56	4

Tiefpaß mit Bessel-Charakteristik

Nennwert fc (Hz)	-1dB (Hz)	-3dB (Hz)	Laufzeit (ms)	Anstiegszeit (ms)	Ü-schw. %
100*)	99	180	2,7	2	1
40	40	72	5,2	4,8	1
20	20	35,5	9,8	10	1
10	9,8	18	18	20	0
5	4,4	8,6	35	40	0
2,5	2,35	4,4	65	80	0
1,25	1,2	2,15	125	160	0
0,5	0,6	1,15	220	300	0
0,2	0,17	0,31	640	1100	0
0,1	0,087	0,155	1400	2200	0
0,05	0,042	0,08	3000	4600	0

Hochpaß (bei Tiefpaß Bessel ≥5Hz oder Butterworth ≥10Hz)	Hz	0,1 und 1,0
Max. zulässige Gleichtaktspannung	V	± 6V
Gleichtaktunterdrückung	dB	> 50 (0 ... 600Hz)
Maximale Differenzspannung DC	V	± 0,1
Trägerrestspannung (600Hz)	$\mu V/V_{SS}$	< 0,3 1)
Rauschspannung	$\mu V/V_{SS}$	< 0,3 (0...200Hz) < 0,03 (0...1,25Hz)
Einfluß der Umgebungstemperatur bei 10K-Änderung auf die digitalen Signale S1 (Brutto) und S2 (Netto):		
bei eingeschalteter Autokalibrierung		
Meßempfindlichkeit	%	< 0,01 typ.0,005%
Nullpunkt	µV/V	< 0,1
bei ausgeschalteter Autokalibrierung:		
Meßempfindlichkeit	%	< 0,2
Nullpunkt	µV/V	< 2
Linearitätsabweichung	%	< 0,02 typ. 0,01 v.E. 2)
Langzeitdrift über 48h (mit / ohne Autokalibrierung)	µV/V	< 0,1 / 2
Analog-Ausgänge Ua1 und Ua2		
Trägerrestspannung	mV_{SS}	< 3
Langzeitdrift über 48h	mV	< 3

*) Werkseinstellung
1) gemessen bei U_B = 5V und Eingangssignal 2mV/V
2) für Meßbereiche > 1mV/V (U_B = 5V); sonst <0,2%

11.5. Konstruktionszeichnungen der einzelnen Prototypen

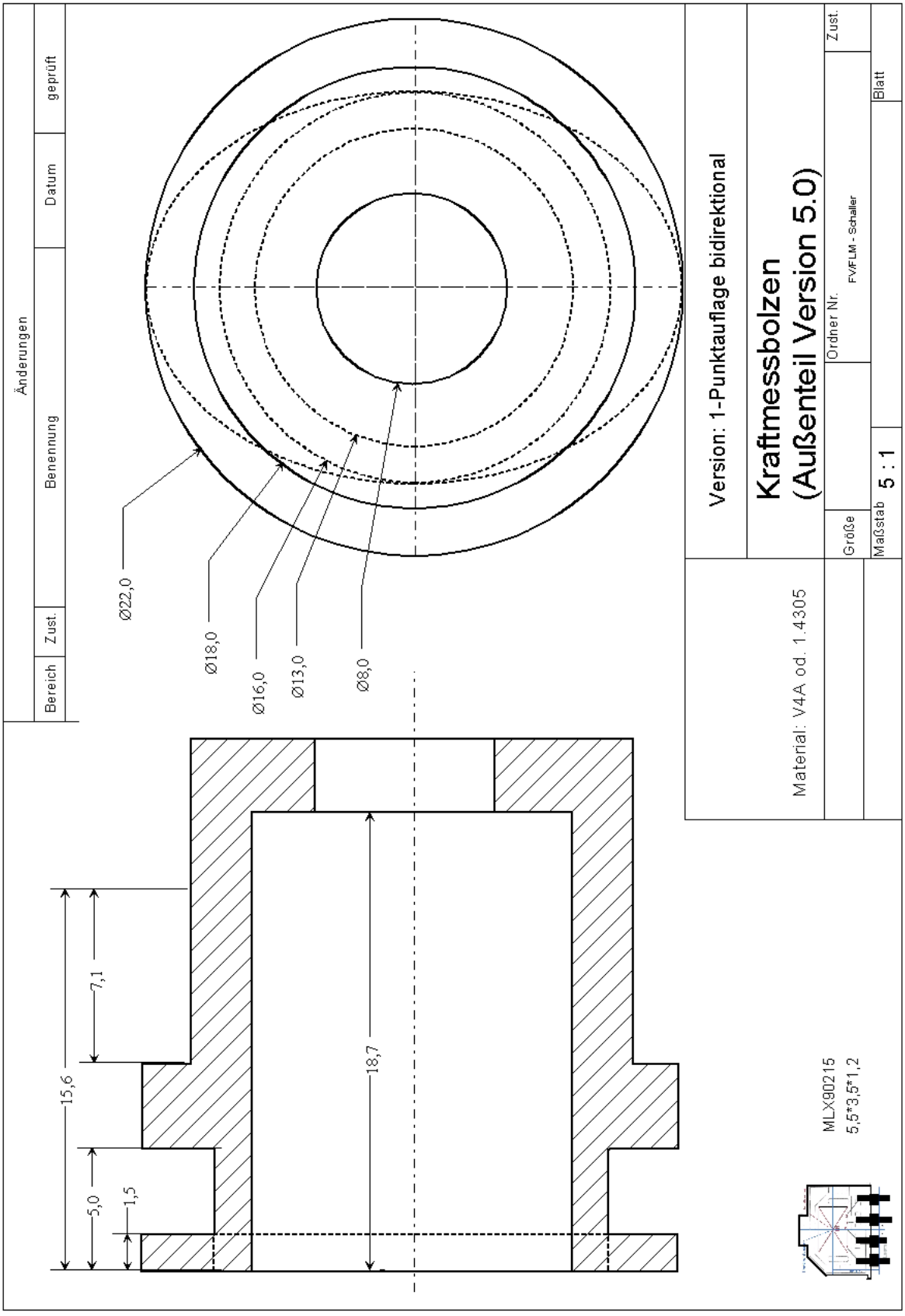


Bild 93 Topfbolzen, KMB Version 5.0 Außenteil

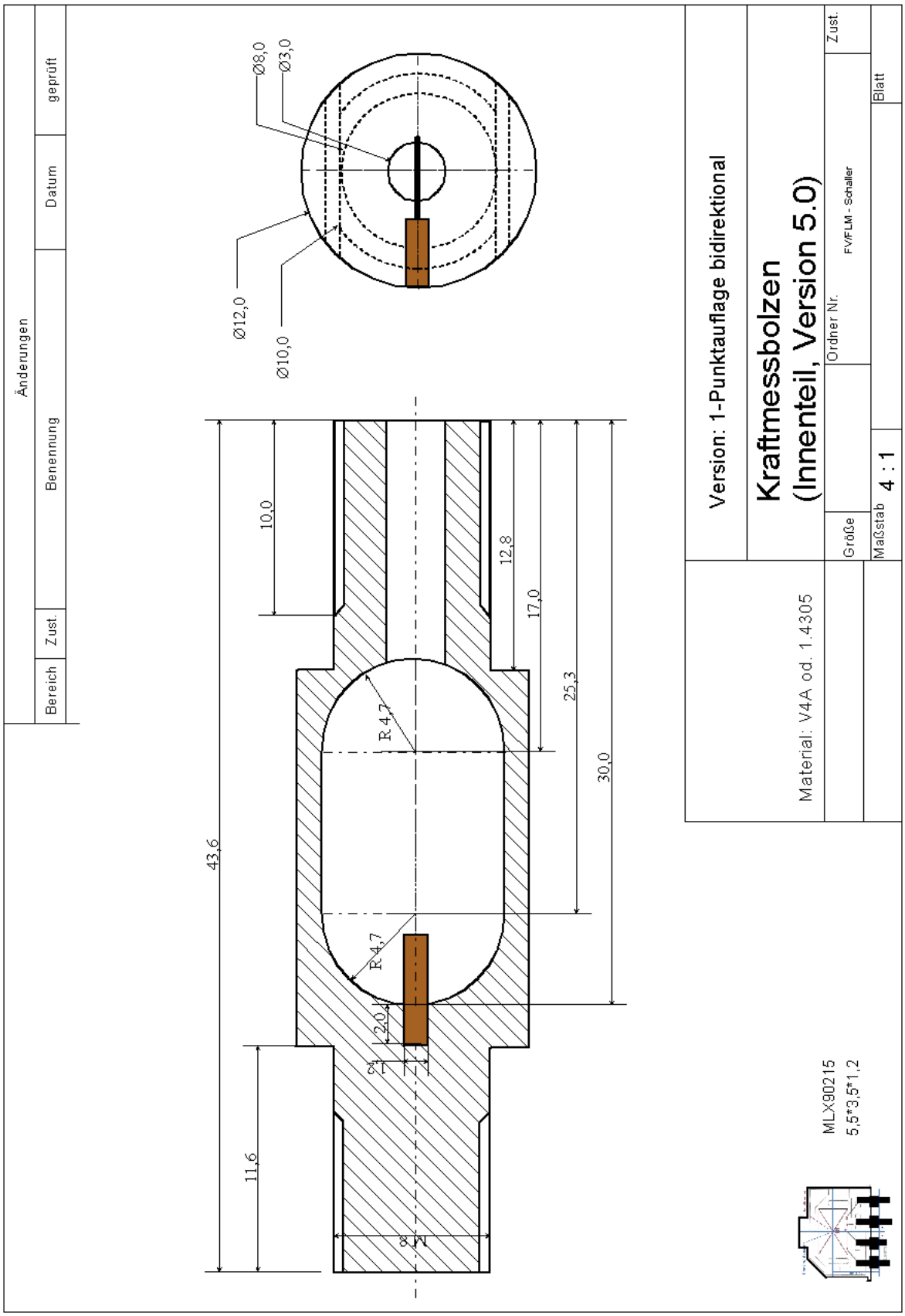


Bild 94 Topfbolzen, KMB Version 5.0, Innenteil

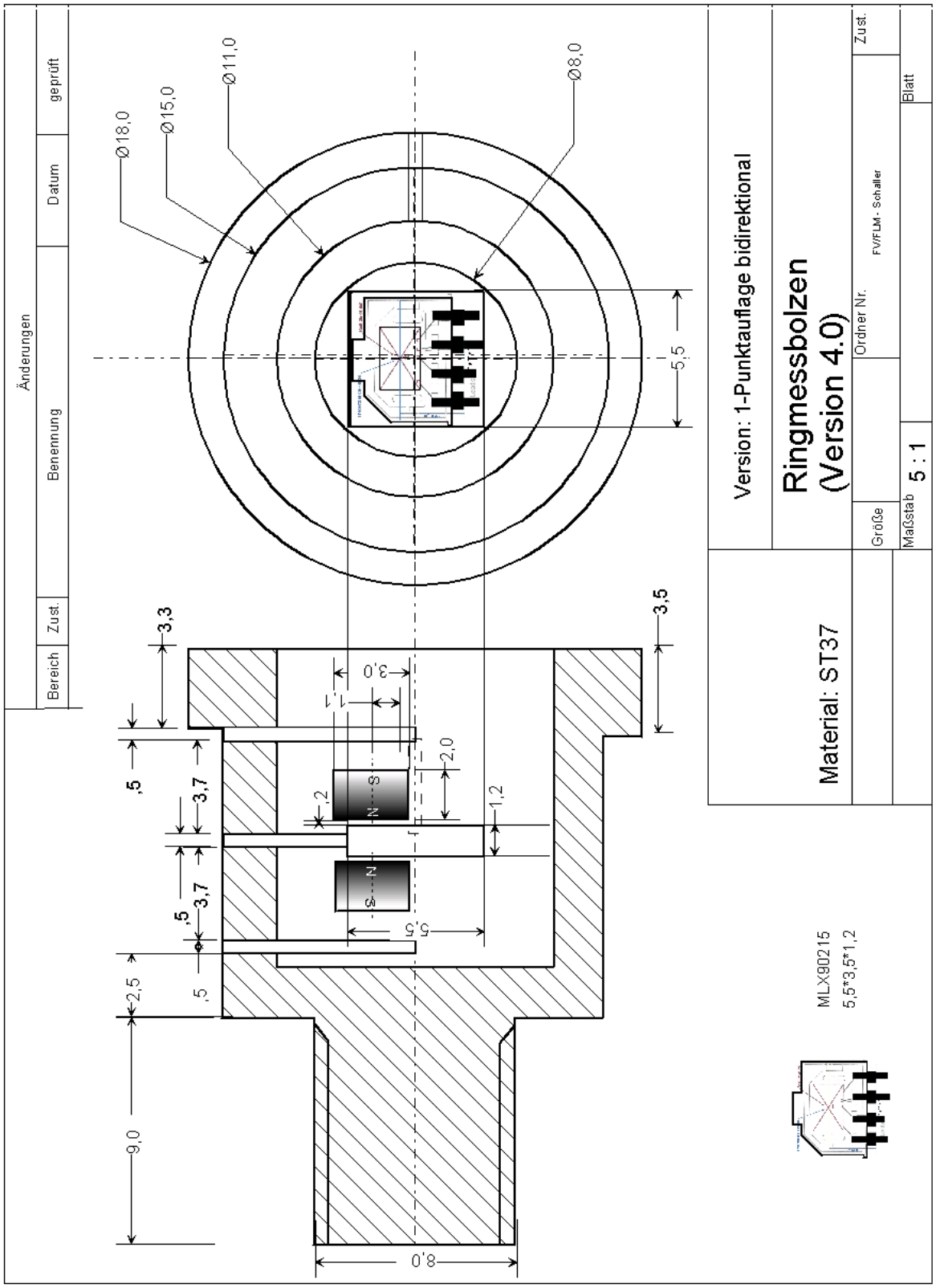


Bild 95 Ringmessbolzen, KMB Version 4.0, Außenteil

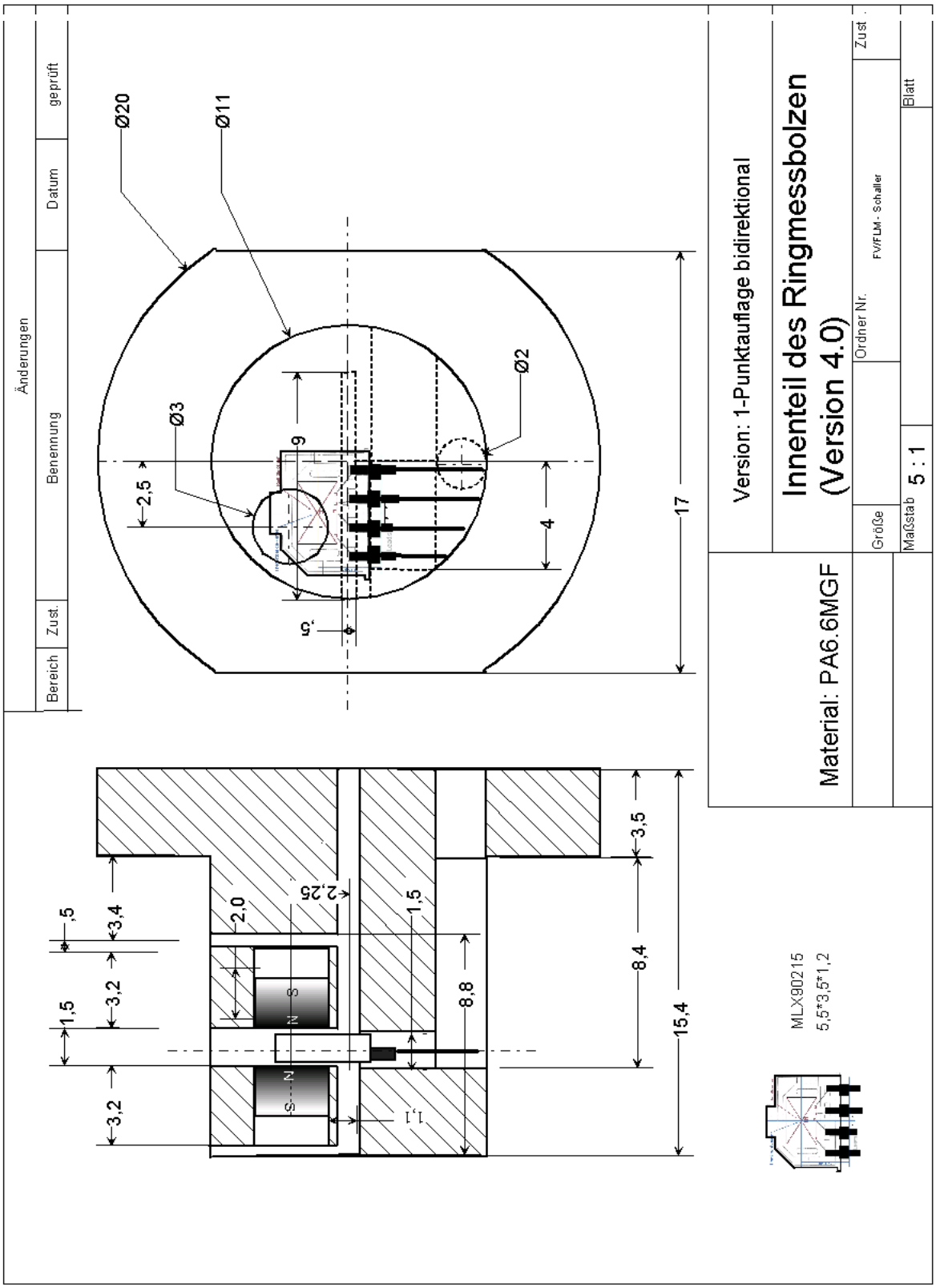


Bild 96 Ringmessbolzen, KMB Version 4.0, Innenteil

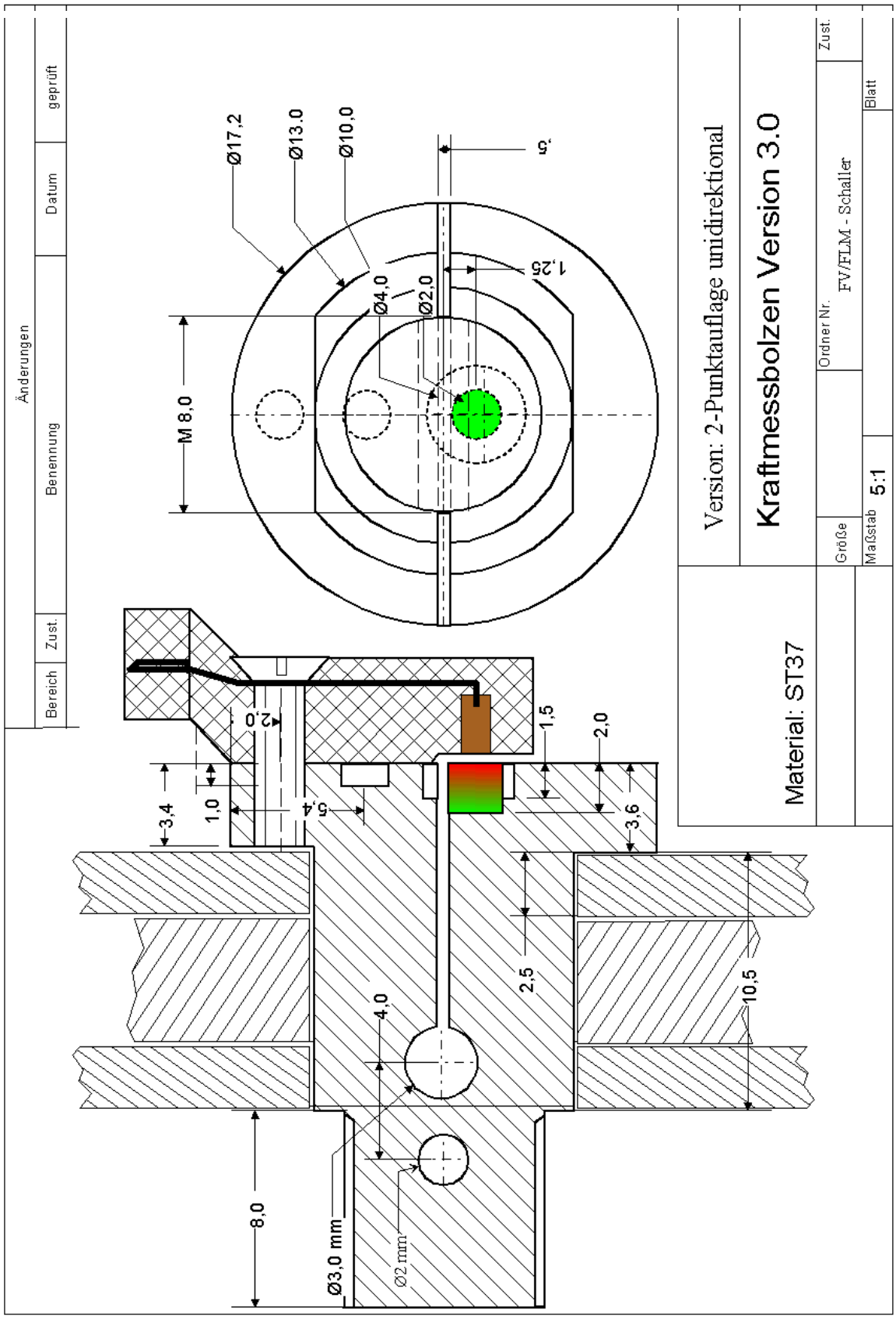


Bild 97 KMB Version 3.0

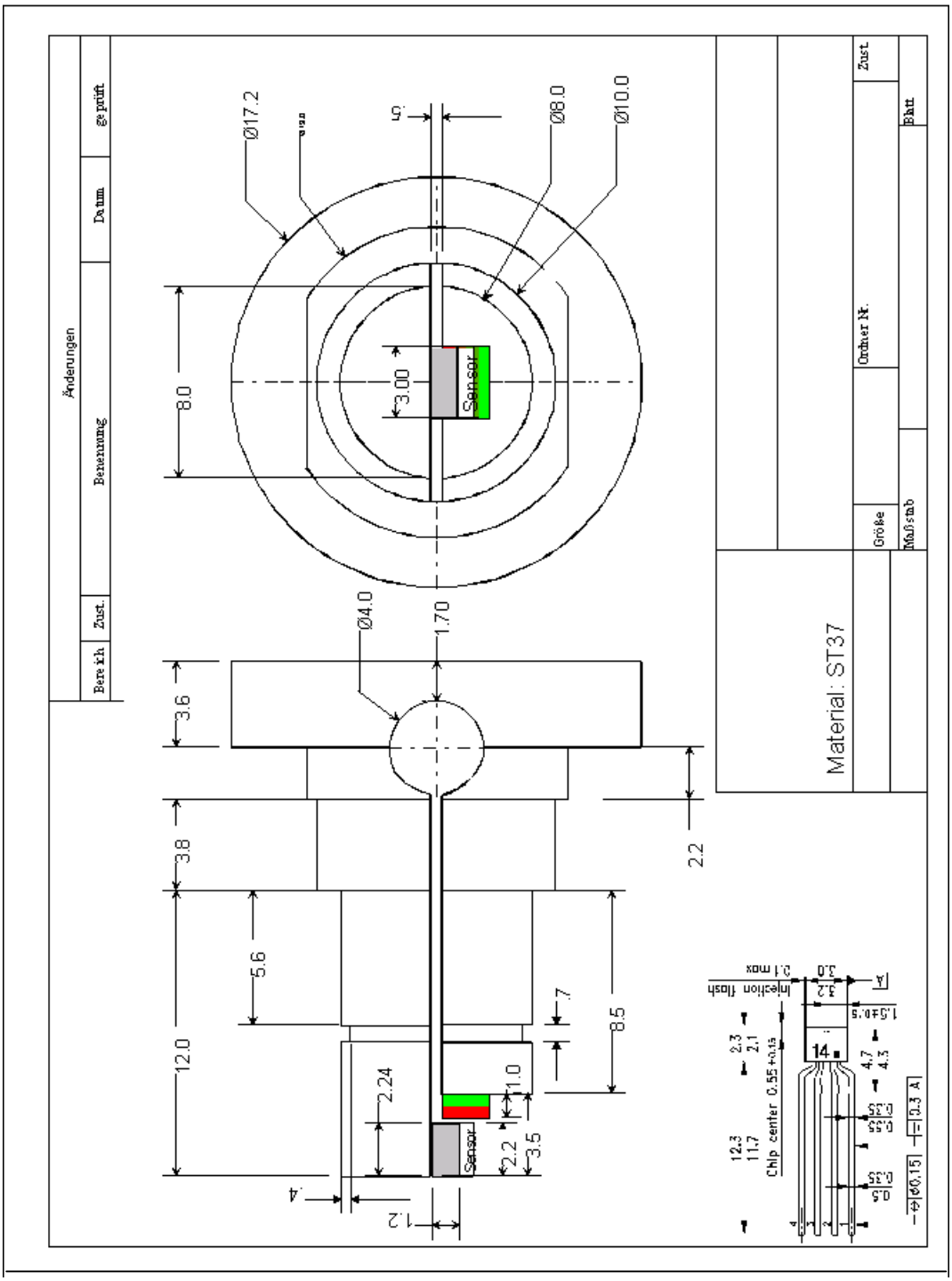


Bild 98 KMB Version 2.0